

MARA RUBIA SILVA

**CONTRIBUIÇÃO PARA A SEMI-AUTOMAÇÃO DO REGISTRO DE
IMAGENS DE DIFERENTES SENSORES NA ANÁLISE MULTITEMPORAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas.

Orientador: Jorge A. Silva Centeno

Co-orientador: Hideo Araki

CURITIBA

2007

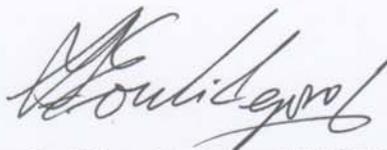
**“CONTRIBUIÇÃO PARA A SEMI-AUTOMAÇÃO DO REGISTRO DE
IMAGENS DE DIFERENTES SENSORES NA ANÁLISE
MULTITEMPORAL”**

POR

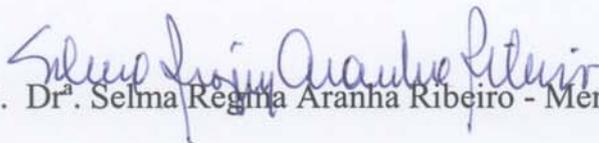
MARA RUBIA SILVA

Dissertação nº 212 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 28 de setembro de 2007.



Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno (UFPR) - Orientador e Presidente



Prof.ª Dr.ª Selma Regina Aranha Ribeiro - Membro (UEPG)



Prof. Dr. Edson Aparecido Mitshita - Membro (UFPR)

AGRADECIMENTOS

A DEUS por ter me dado a oportunidade de estar no mundo.

A minha família por todo o amor, carinho, compreensão e respeito.

A João Paulo Bueno do Prado pelos comentários ao trabalho, e acima de tudo pelo inestimável apoio e pela paciência e compreensão reveladas ao longo destes meses.

Ao professores Dr. Jorge A. S. Centeno pela orientação e ao professor Dr. Hideo Araki pela co-orientação.

A Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, a Divisão de Levantamento General Augusto Tasso Fragoso e a *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, Airton Camargo P. da Silva, Paulo Roberto Martini (INPE) e Luiz Danilo Damasceno Ferreira pela colaboração.

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG), Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento.

À Coordenação do CPGCG e aos professores do CPGCG pela transmissão de conhecimento. À secretária do CPGCG Verali Mônica Kleuser pela assistência.

A Claudionor Ribeiro da Silva, amigo e colega, pela ajuda pontual com a adequação do programa ao meu problema de pesquisa, pela disponibilidade sempre manifestada e pela amizade.

A Mosar Faria Botelho pela colaboração, apoio, incentivo, pelas críticas e sugestões.

A todos os Colegas do CPGCG, em especial: John, Glauber, Ângela, João Cortes, Marcelo e Everly.

Aos amigos Nilza, Jauro e família, e ao Thiago pela acolhida em Curitiba.

Aos amigos da GB3: Mariane, Judith, Heveline, Ricardo Breno, Gláucio, Vânia e Cássia, pela amizade, paciência, compreensão e ajuda.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

EPIGRAFE

*“Nunca se percebe o que já foi feito; a gente só nota o que ainda está por
fazer.”*

Emily Dickinson

Dedico este trabalho à minha mãe

Leonídia Maria Silva

RESUMO

Este trabalho faz parte do projeto GEOSAFRAS, desenvolvimento e gerenciamento das safras no país, de responsabilidade da Companhia Nacional de Abastecimento e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Tem como objetivo a semi-automação do processo de correção geométrica utilizando uma imagem corrigida a partir de uma carta digital, a qual servirá de base para corrigir as imagens de ajuste multitemporais e de diferentes sensores. As imagens de ajuste são corrigidas pelo processo imagem-imagem. O primeiro passo consiste na composição da malha relacional que é gerada pela segmentação, classificação das imagens e seleção dos segmentos. O passo seguinte consiste na busca da correspondência (*matching*) da malha relacional formada pelos segmentos. A busca da malha é feita pelos algoritmos genéticos. Uma vez obtida a solução ideal, os centróides dos segmentos são utilizados como pontos de controle no processo de correção geométrica. Os resultados mostram que algoritmos genéticos encontraram a solução ótima de correspondência ideal da malha relacional na grande maioria dos experimentos realizados. Além disso, foi encontrada uma solução sub-ótima de correspondência para a imagem de ajuste LANDSAT 2002 reamostrada, a qual possui um segmento que sofre grandes variações em relação ao mesmo segmento na imagem de referência.

ABSTRACT

This work is part of the GEOSAFRAS project, development and management of the harvests in Brazil, led by the National Company of Supply and the Program of the United Nations for the Development. It has as objective the semi-automation of the geometric correction using a georeferenced image, as base to correct new images, of other dates and of different sensors. The images are corrected by the image-image process. The first step consists of the segmentation and classification of the images and the selection of segments for the composition of a relational mesh. The mesh step is to match the relational mesh of the new image to the reference image. The genetic algorithms are used to match the mesh. After getting the ideal solution of correspondence, the centroids of the segments are used as control points in the geometric correction. The genetic algorithms find the optimal solution of the ideal correspondence of the relational mesh for almost all the experiments. In some cases, a sub-optimal solution is found. That happens when the segments in the new image change significantly with time, interns of spectral or spatial variations.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE DOIS ESPAÇOS (E E E')-----	25
FIGURA 2 - MAPEAMENTO DIRETO-----	27
FIGURA 3 - MAPEAMENTO INVERSO-----	27
FIGURA 4 - IDENTIFICAÇÃO POR MALHA RELACIONAL-----	30
FIGURA 5 - ÁREA DE ESTUDO-----	37
FIGURA 6 - IMAGEM CBERS II DE JANEIRO DE 2006 COM OS PONTOS DE CONTROLE-----	39
FIGURA 7 - PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA IMAGEM GEORREFERENCIADA.-----	42
FIGURA 8 - IMAGENS DE REFERÊNCIA E AJUSTE SEGMENTADAS-----	53
FIGURA 9 - ÁREAS DE VEGETAÇÃO EXTRAÍDAS DAS IMAGENS DE REFERÊNCIA E DE AJUSTE-----	54
FIGURA 10 - MODELOS RELACIONAIS (A) DA IMAGEM DE REFERÊNCIA; (B) DA IMAGEM A SER ANALISADA-----	55
FIGURA 11 - POSSÍVEL ASSOCIAÇÃO ENTRE A IMAGEM DE REFERÊNCIA E A IMAGEM AJUSTE-----	57
FIGURA 12 - CÁLCULO DA POPULAÇÃO INICIAL-----	58
FIGURA 13 - CRUZAMENTO-----	58
FIGURA 14 - MUTAÇÃO-----	59
FIGURA 15 - POPULAÇÃO DO MELHOR INDIVÍDUO-----	59
FIGURA 16 - OBTENÇÃO DE FS POR NORMALIZAÇÃO DE DMS-----	61
FIGURA 17 - IMAGEM DE REFERÊNCIA CBERS II DE JANEIRO DE 2006 SEGMENTADA-----	65
FIGURA 18 - ÁREAS DE VEGETAÇÃO-----	65
FIGURA 19 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM DE REFERÊNCIA-----	67
FIGURA 20 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM DE CBERS DE 2006-----	69
FIGURA 21 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM DE CBERS DE 2004-----	70
FIGURA 22 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2000-----	71
FIGURA 23 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2000 REAMOSTRADA-----	72

FIGURA 24 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2002-----	73
FIGURA 25 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2002 REAMOSTRADA-----	74
FIGURA 26 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2003-----	75
FIGURA 27 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2003 REAMOSTRADA-----	76
FIGURA 28 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2006-----	77
FIGURA 29 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2006 REAMOSTRADA-----	78
FIGURA 30 - OITO SEGMENTOS DA IMAGEM DE REFERÊNCIA-----	96
FIGURA 31 - ANÁLISE DA IMAGEM CORRIGIDA A PARTIR DOS CENTRÓIDES-----	107
FIGURA 32 - ANÁLISE DA IMAGEM CORRIGIDA A PARTIR DOS CENTRÓIDES E PONTOS DE CONTROLE-----	108

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DISTORÇÕES GEOMÉTRICAS EM IMAGENS-----	22
TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DOS TIPOS DE CULTIVOS E ÁREA CULTIVADA-----	36
TABELA 3 - COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE-----	40
TABELA 4 - COORDENADAS DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO EM METROS-----	43
TABELA 5 - MÁXIMA ITERAÇÃO E TAMANHO DE POPULAÇÃO-----	80
TABELA 6 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA RELACIONAL COM CINCO SEGMENTOS VETORIZADOS MANUALMENTE-----	81
TABELA 7 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS VETORIZADOS MANUALMENTE-----	82
TABELA 8 - RESULTADO DOS RMS CALCULADOS PARA OS POLÍGONOS VETORIZADOS MANULAMENTE-----	83
TABELA 9 - RESULTADO DOS RMS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO-----	84
TABELA 10 - DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM DE REFERÊNCIA-----	87
TABELA 11 - DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM DE CBERS 2006-----	88
TABELA 12 - DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM LANDSAT 2000 DE COM RESOLUÇÃO ESPACIAL DE 28,5 METROS-----	89
TABELA 13 - DIFERENÇAS DE ÁREAS DOS SEGMENTOS ENTRE A IMAGEM DE REFERÊNCIA E IMAGEM LANDSAT 2002-----	89
TABELA 14 - DIFERENÇAS DE ÁREAS DOS SEGMENTOS ENTRE A IMAGEM LANDSAT 2002 REAMOSTRA E IMAGEM DE REFERÊNCIA-----	90
TABELA 15 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA UTILIZANDO CINCO SEGMENTOS-----	91
TABELA 16 - DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM CBERS DE 2006-----	93
TABELA 17 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OS SEGMENTOS SUBDIVIDIDOS-----	95
TABELA 18 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS-----	97
TABELA 19 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM CINCO SEGMENTOS PARA A IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA-----	99
TABELA 20 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS PARA A IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA-----	99

TABELA 21 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM CINCO SEGMENTOS PARA A IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA-----	100
TABELA 22 - RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS PARA A IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA-----	100
TABELA 23 - CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM CBERS II 2006 UTILIZANDO CINCO SEGMENTOS-----	102
TABELA 24 - CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM CBERS II 2006 UTILIZANDO OITO SEGMENTOS-----	102
TABELA 25 - RESULTADO DOS RMS PARA TODAS AS IMAGENS DE AJUSTE-----	103
TABELA 26 - RESULTADO DOS RMS DO CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO-----	103
TABELA 27 - RMS DOS PARÂMETROS A PARTIR DE CINCO E OITO CENTROÍDES PARA IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA-----	105
TABELA 28 - RESULTADO DOS RMS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA-----	105
TABELA 29 - RMS DOS PARÂMETROS A PARTIR DE CINCO E OITO CENTROÍDES PARA IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA-----	105
TABELA 30 - RESULTADO DOS RMS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA-----	106
TABELA 31 - RESULTADO DA VERIFICAÇÃO DA CORREÇÃO GEOMÉTRICA PARA IMAGEM CBERS 2004-----	107

LISTA DE SIGLAS

VNIR – *Visible and Near-Infrared*

RMS – *Root Mean Square Error*

CCD – *Charge-Coupled Device*

ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

LANDSAT – *Land Remote Sensing Satellite*

CBERS – *Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres*

SPOT – *Satellite pour l'Observation de la Terre*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

AVHRR – *Advanced Very High Resolution Radiometer*

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

EROS – *Earth Resources Observation Satellite*

HRV – *Visible High-Resolution*

TM – *Thematic Mapper*

ETM⁺ – *Enhanced Thematic Mapper Plus*

UTM – *Universal Transverse Mercator*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

INPE – *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

DSR – *Divisão de Sensoriamento Remoto*

DSG – *Diretoria de Serviço Geográfico*

ENVI – *Environment for Visualizing Images*

GAOT – *The Genetic Algorithm Optimization Toolbox*

e – *Erro quadrático*

FNEA – *Fractal Net Approach*

MMQ – *Método dos Mínimos Quadrados*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO NA AGRICULTURA	20
2.2	CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS	21
2.2.1	Etapas da Correção Geométrica	25
2.3	MATCHING - CORRESPONDÊNCIA	29
2.4	ALGORITMOS GENÉTICOS	31
3	METODOLOGIA	35
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.2	ÁREA DE ESTUDO	36
3.3	CORREÇÃO GEOMÉTRICA	37
3.4	CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE REFERÊNCIA	38
3.5	VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA IMAGEM CORRIGIDA	42
3.6	ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA	43
3.6.1	Segmentação	45
3.6.2	Classificação	50
3.6.3	Seleção de Regiões de Referência e Matching	52
3.6.4	Análise de Correspondência com Algoritmos Genéticos	56
3.7	CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM DE AJUSTE	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1	SEGMENTAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS OBJETOS DA IMAGEM DE REFERÊNCIA	64
4.2	PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NAS IMAGENS DE AJUSTE	68

4.2.1	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem CBERS de 2006-----	68
4.2.2	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem CBERS 2004-----	69
4.2.3	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2000-----	70
4.2.4	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2000 Reamostrada-----	71
4.2.5	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2002-----	72
4.2.6	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2002 Reamostrada-----	73
4.2.7	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2003-----	74
4.2.8	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2003 Reamostrada-----	75
4.2.9	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2006-----	76
4.2.10	Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2006 Reamostrada-----	77
4.3	BUSCA DA MALHA RELACIONAL IDEAL-----	78
4.4	BUSCA DA CORRESPONDÊNCIA DA MALHA RELACIONAL A PARTIR DOS SEGMENTOS VETORIZADOS MANUALMENTE-----	79
4.4.1	Experimentos Realizados Usando Cinco Segmentos Vetorizados-----	80
4.4.2	Experimentos Realizados Usando Oito Segmentos Vetorizados-----	81
4.5	CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO GEOMÉTRICA PARA OS POLÍGONOS VETORIZADOS MANUALMENTE-----	83
4.6	BUSCA DA CORRESPONDÊNCIA DA MALHA RELACIONAL A PARTIR DOS SEGMENTOS PROVINIENTES DO PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO-----	84

4.6.1	Experimento Realizado Usando Cinco Segmentos na Malha Relacional--	86
4.6.1.1	Dados da imagem de referência-----	87
4.6.1.2	Dados obtidos a partir das imagens de ajuste-----	88
4.6.1.3	Resultado das soluções ideais da correspondência da malha usando cinco segmentos-----	91
4.6.2	Experimento Realizado Usando Todos os Segmentos Subdivididos no Processo de Segmentação-----	92
4.6.2.1	Resultado da solução ótima de correspondência da malha usando todos os segmentos subdivididos no processo de segmentação-----	94
4.6.3	Experimento Realizado Usando Oito Segmentos na Malha Relacional----	95
4.7	BUSCA DA CORRESPONDÊNCIA DA MALHA RELACIONAL ADOTANDO OUTRA IMAGEM COMO REFERÊNCIA-----	98
4.7.1	Experimento Usando a Imagem ASTER 2006 para Cinco Segmentos na Composição da Malha Relacional-----	98
4.7.2	Experimentos Usando a Imagem ASTER 2006 como Referência para Oito Segmentos na Composição da Malha Relacional-----	99
4.7.3	Experimentos Usando a Imagem LANDSAT 2000 como Referência para Cinco Segmentos na Composição da Malha Relacional-----	99
4.7.4	Experimentos Usando a Imagem LANDSAT 2000 como Referência para Oito Segmentos na Composição da Malha Relacional-----	100
4.8	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO POR M.M.Q-----	101
4.8.1	Correção Geométrica da CBERS II agosto 2006-----	101
4.9	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO POR M.M.Q PARA AS IMAGENS ASTER 2006 E LANDSAT 2000---	104
4.10	ANÁLISE DAS IMAGENS CORRIGIDAS-----	106
5	CONCLUSÕES-----	109
6	RECOMENDAÇÕES-----	111
	REFERÊNCIAS-----	112
	APÊNDICES-----	116
	APÊNDICE 1-----	116

APÊNDICE 2 -----	120
APÊNDICE 3 -----	123
APÊNDICE 4 -----	126
APÊNDICE 5 -----	127
APÊNDICE 6 -----	128
APÊNDICE 7 -----	133
APÊNDICE 8 -----	139

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento dos cultivos agrícolas exige cada vez mais o uso de novas técnicas, precisas e acuradas, para maximizar a produtividade. Com isso, vantagens como o controle eficiente de áreas plantadas pode auxiliar a inspeção governamental na estimativa da produção no país. Uma das técnicas que está sendo muito estudada, no intuito de monitorar culturas, é o Sensoriamento Remoto.

O Sensoriamento Remoto oferece alternativas econômicas que podem ser utilizadas para fazer o acompanhamento do desenvolvimento da vegetação em campos cultivados. Entre as vantagens do uso de imagens de Sensoriamento Remoto para esta finalidade pode ser apontada a cobertura global que permite efetuar estudos em qualquer lugar do planeta, dependendo das imagens a serem utilizadas. O Sensoriamento Remoto permite também obter uma visão panorâmica da região de estudo, facilitando a cobertura de vários campos cultivados com uma única imagem, com condições homogêneas de observação. A disponibilidade de um arquivo histórico, com imagens sendo coletadas sistematicamente desde os anos setenta também facilita a execução de estudos temporais.

A crescente disponibilidade de imagens devido ao surgimento de novos sensores tem facilitado o acesso aos dados e diminuído os custos. Atualmente as imagens orbitais com resolução espacial suficiente para acompanhar campos cultivados podem ser obtidas sem custo para fins de pesquisa como, por exemplo, as imagens do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS) ou *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) com o sensor *Visible and Near-Infrared* (VNIR). Os sensores utilizados para captar estas imagens são compatíveis com as necessidades do monitoramento da vegetação, pois incluem as faixas do visível e o infravermelho.

As maneiras de utilizar os dados de Sensoriamento Remoto variam conforme a experiência do usuário, do *software* disponível e da finalidade do estudo. Porém, a manipulação dos dados deixou de ser realizada analogicamente e passou a ser plenamente digital. Esta prática vem acompanhada pelo desenvolvimento de técnicas

de processamento de imagens. Algoritmos de realce, tais como: análise de índices de vegetação, transformação das componentes principais, transformação Tasseled Cap, dentre outras, facilitam a visualização e o estudo da cobertura do solo.

A cobertura vegetal de um campo de cultivo é um fenômeno dinâmico. A variação espectral da cobertura do solo depende de muitos fatores tais como: ciclo de cultivo, métodos de cultivo e preservação, local, condições climáticas e a própria natureza da espécie cultivada. Por este motivo, a disponibilidade de uma série de imagens da mesma região ao longo do ciclo de desenvolvimento da planta torna-se uma vantagem para o monitoramento de seu crescimento, propiciando estudos multitemporais dos valores digitais dos *pixels*.

Para um estudo temporal, o aproveitamento de imagens orbitais de diferentes sensores é uma grande vantagem, pois dados de uma única imagem podem ser prejudicados pela ocorrência de nuvens nas datas de coleta. Com isso, a utilização de diferentes sensores pode preencher lacunas na série temporal e aumentar o número de imagens, diminuindo o intervalo entre elas. Atualmente, verifica-se a disponibilidade de sensores com resolução espacial muito próxima entre si, variando entre 20 e 30 metros, que podem ser utilizados conjuntamente para o estudo da vegetação.

Para o uso efetivo de várias imagens do mesmo local, uma base geométrica comum e de qualidade é fundamental. As imagens brutas contêm distorções inerentes ao processo de coleta de dados e não podem ser diretamente utilizadas. Elas precisam ser corrigidas em termos geométricos e radiométricos. Neste estudo, aborda-se a questão geométrica.

A finalidade da correção geométrica é compensar as distorções geométricas através de algoritmos de correção que modificam a posição dos *pixels* na imagem, aproximando-os da posição real pela aplicação de um modelo de transformação geométrica. No procedimento convencional, a determinação dos parâmetros da transformação geométrica se faz mediante a utilização de pontos de controle ou apoio. Este é um processo manual e exige um operador experiente. Ele é um processo lento, pois requer a identificação visual de pontos nas imagens. Sua automação é um tema atual para pesquisa. Porém, o uso de pontos de controle não é a única opção existente

para a correção geométrica. A utilização de feições lineares ou áreas é também um tema que tem despertado muito interesse em pesquisas.

O presente projeto pretende contribuir para o desenvolvimento de técnicas que semi-automatizem processos para a correção geométrica de imagens a partir de estudos temporais, bem como a análise propriamente dita destes dados. O projeto de pesquisa faz parte do programa GEOSAFRAS, que é uma iniciativa da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), e do PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), estabelecido em 2004. Este programa contribui para monitorar e aprimorar as estimativas de safras no país. Dentro deste contexto, o uso de imagens orbitais tem adquirido um papel determinante. Vários grupos de pesquisa encontram-se atualmente trabalhando dentro deste programa que envolve o uso do sistema de posicionamento por satélite (GPS) e técnicas de Sensoriamento Remoto.

1.1 JUSTIFICATIVA

A correção geométrica é imprescindível dentro de um projeto de Sensoriamento Remoto com aplicação no monitoramento da cobertura do solo, por exemplo, na análise de imagens adquiridas em diferentes épocas, e também quando se almeja fazer a fusão entre duas imagens de diferentes sensores. A etapa de correção geométrica de imagens é sempre uma tarefa morosa, em virtude da necessidade de identificar pontos homólogos em imagens de uma mesma região. Por isto, alternativas que permitam automatizar este processo ou pelo menos parte dele, são sempre almejadas. Dentro do contexto do monitoramento de campos de cultivo de soja, um dos objetivos do programa GEOSAFRAS é a automação de etapas da correção geométrica de imagens de Sensoriamento Remoto. Isto permite ganhar tempo e poupar recursos na análise das variações espectrais durante o desenvolvimento do ciclo da cultura observada.

1.2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para semi-automatizar o processo de correção geométrica de imagens utilizando centróides para o monitoramento multitemporal de campos agrícolas baseado em imagens de diferentes sensores orbitais.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver e avaliar uma metodologia para efetuar o registro imagem-imagem por correspondência (*matching*) baseada em algoritmos genéticos.
- Verificar a viabilidade do uso de centróides de segmentos para o cálculo dos parâmetros de transformação geométrica.
- Avaliar a aplicabilidade da metodologia usando sensores de diferentes resoluções espaciais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O avanço do Sensoriamento Remoto tem permitido a utilização de imagens de satélite para monitorar e auxiliar a estimativa de áreas plantadas. São inúmeras as possibilidades que podem ser utilizadas. Cita-se: imagens dos satélites *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) com o sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AHVRR), TERRA/AQUA com o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS) com a Câmera de Amplo Campo de Visada (WFI). Oferecem menor resolução espacial que os satélites *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), *Satellite pour l'Observation de la Terre* (SPOT) e *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS) com a Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD) de média resolução espacial. Finalmente IKONOS, QUICK BIRD e *Earth Resources Observation Satellite* (EROS) são classificados como de resolução espacial alta. Antes dos anos 90, a quantidade e variedade de imagens eram menores e permitiam uma ou no máximo duas coberturas durante o período das safras o que reduzia a chance de um melhor acompanhamento das áreas cultivadas. No momento, a combinação de vários satélites permite obter mais imagens por ciclo da cultura, facilitando o acompanhamento de áreas plantadas. Mas para que as imagens sejam realmente utilizadas para o acompanhamento das áreas cultivadas ou do tipo de cultura, é necessário o desenvolvimento de metodologias operacionais. Isso demanda automatizar algumas de suas etapas e avaliar o desempenho e potencial de novos sensores, considerando-se sempre questões associadas à disponibilidade das imagens, frequência de aquisição, características, resoluções, e o custo.

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO NA AGRICULTURA

Os dados oriundos de Sensoriamento Remoto podem ser utilizados tanto para a estimativa de área quanto de produtividade. Para estimativa de área, por meio de mapeamento de parcelas e/ou talhões de cultivos agrícolas, normalmente são utilizadas

imagens de alta ou de média resolução espacial geradas por Satélites de Observação da Terra (EOS), tais como SPOT com os sensores HRV (*Visible High-Resolution*), CBERS com sensor CCD (*Charge-Coupled Device*) e LANDSAT (sensores TM (*Thematic Mapper*) e ETM⁺ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*)). Os sensores a bordo destes satélites capturam imagens com resolução espacial que varia de 5 a 30 metros, o que é compatível com a estrutura fundiária agrícola da maioria dos países produtores. No entanto os satélites com sensores com esta resolução possuem baixa resolução temporal, ou seja, reduzido ciclo de observação. Isto significa que uma mesma área pode ser observada em média, uma vez por mês, sem contar com a interferência de nuvens. Esta característica limita a possibilidade do uso destes satélites para o monitoramento agrícola sistemático e de estimativas de rendimento. Como consequência, estimativas de rendimento são geradas a partir da utilização de imagens que apresentam alta resolução temporal, tais como aquelas dos satélites de órbita polar NOAA, sensores AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), SPOT, sensor VEGETATION e TERRA e AQUA, sensores MODIS. Estas imagens combinam ciclo diário de aquisição de imagens com cobertura sinótica.

A análise visual, muito comum na fase inicial do Sensoriamento Remoto, está hoje sendo substituída por métodos de processamento e classificação digital das imagens, o que tem acelerado o processo de obtenção de informações. As técnicas de realce, filtragens, segmentação e classificação multiespectral são usadas na interpretação digital com o objetivo de se extrair informações sobre o uso dos solos. Segundo Rosendo (2005) as técnicas de realce de imagem por meio de índices de vegetação aumentam o contraste entre as áreas cobertas por vegetação e outros tipos de cobertura, melhorando a aparência da distribuição espacial das informações, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional.

2.2 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS

As imagens adquiridas pelos satélites geralmente contêm erros geométricos sistemáticos e não sistemáticos. Os erros sistemáticos resultam do mecanismo de varredura do sensor e dos movimentos relativos regulares durante a aquisição dos

dados, e estes são previsíveis e conseqüentemente fáceis de serem retificados, podendo ser removidos durante o pré-processamento dos dados brutos. Já os erros não sistemáticos surgem devido às perturbações e as variações não controladas, sendo assim, imprevisíveis e requerem um processo mais sofisticado para remoção. Geralmente estes erros são ignorados em investigações rotineiras.

Na TABELA 1 podem ser observadas as distorções geométricas relativas ao sistema sensor, segundo (GUPTA, 1991).

TABELA 1 – DISTORÇÕES GEOMÉTRICAS EM IMAGENS

	TIPO DE SENSOR		TIPO DE DISTORÇÃO
	ÓPTICO MECÂNICO	CCD	
A. Fatores do sistema sensor			
1. Erros instrumentais	Sim	Sim	Não sistemático e sistemático
2. Distorção panorâmica	Sim	Não	Sistemático
3. Variação na amostragem no ou escaneamento	Sim	Não	Sistemático
4. Deslocamento devido ao tempo de varredura	Sim	Não	Sistemático
B. Variação na atitude e perturbações da plataforma do sensor			
5. Variação na velocidade e na altura da plataforma do sensor	Sim	Sim	Não sistemático
6. Distorções de arfagem, rolamento e guinada do satélite devido à instabilidade da plataforma	Sim	Sim	Não sistemático
C. Forma e rotação da Terra			
7. Distorção devido à rotação da Terra	Sim	Sim	Sistemático
8. Efeitos da curvatura da Terra	Sim	Sim	Não sistemático

FONTE: Adaptado de GUPTA, 1991

Segundo Tao e Hu (2001) os modelos geométricos matemáticos utilizados para modelar as distorções presentes nas imagens podem ser físicos ou generalizados. Nos modelos físicos, cada parâmetro tem um significado físico e tem relação com a posição e a orientação do sensor com relação a um sistema de coordenadas do espaço-objeto. Nos modelos generalizados, a transformação entre os espaços imagem e objeto é representada como uma função geral como, por exemplo, um polinômio. Em geral, por não precisarem de conhecimento da geometria do sensor, os modelos generalizados podem ser aplicados a diferentes tipos de sensores.

A correção das distorções geométricas utilizando modelos generalizados pode ser efetuada de duas formas: tomando como referência as coordenadas de pontos de controle obtidas de mapas ou levantamentos de campo, ou utilizando como referência uma imagem previamente retificada, o que é chamado de registro de imagem. Ou seja, a correção geométrica pode ser realizada na forma imagem-mapa ou imagem-imagem. Na correção imagem-mapa, a imagem é colocada num sistema de coordenadas planas de um sistema de projeção cartográfica, tal como o *Universal Transverse Mercator* (UTM). Neste caso a imagem é dita georreferenciada ou geocodificada (NIBLACK, 1986). Na correção imagem-imagem, uma imagem é registrada com outra imagem da mesma área geográfica, de diferente ou mesmo sensor, ou de diferente data. A imagem considerada como geometricamente correta, sobre a qual a segunda é sobreposta, é chamada de imagem de referência. A imagem a ser registrada com a imagem de referência é denominada de imagem de ajuste ou de entrada (FONSECA, 1999). O problema central do processo da correção geométrica de imagem é determinar a transformação geométrica, a qual modela as distorções entre os dados a serem registrados.

As transformações geométricas utilizadas para alinhar duas imagens podem ser globais e locais. A transformação global é dada por uma equação que mapeia a imagem inteira. Já a transformação local mapeia a imagem diferentemente dependendo da localização espacial e é muito mais difícil de expressar sucintamente. As transformações mais comuns são: rígida, afim, projetiva, perspectiva e relações polinomiais.

A transformação isogonal, conforme ou Helmert é usada para imagens obtidas a partir de posições diferentes do sensor ou objeto, em que as imagens mantêm suas formas e tamanhos. Neste tipo de transformação, a distância entre dois pontos quaisquer na primeira imagem é preservada quando são mapeadas para a segunda imagem. Os parâmetros desta transformação são: translação, rotação e escala.

A transformação afim é uma aplicação do método paramétrico para realizar transformações entre sistemas de coordenadas. Tem como característica principal de manter o paralelismo e é composta por seis parâmetros: duas translações, dois fatores de escala, um fator de rotação e um fator de não-ortogonalidade dos eixos de

referência. Nesta transformação uma linha reta na primeira imagem é mapeada para uma linha reta na segunda imagem, mantendo o paralelismo.

A transformação perspectiva, projetiva é utilizada, sob certas condições, para aproximar a mudança do ponto de vista da câmera quando imagens da cena são vistas, permitindo assim reconhecer objetos mesmo se eles são observados de diferentes pontos de vista (DIONISIO, 2005).

A transformação projetiva, e de maneira mais geral a transformação perspectiva, são utilizadas para imagens cujas distorções ocorrem devido a projeção de objetos de distâncias variadas do sensor no plano da imagem. O paralelismo de uma linha reta na primeira imagem mapeada para uma linha reta na segunda imagem nem sempre é mantido.

Segundo Lugnani (1987) as relações polinomiais são utilizadas em problemas de interpolação, ajustamento de fotogramétrico por faixa e modelação das distorções, e muitas vezes os polinômios são escolhidos empiricamente como modelo matemático. A escolha arbitrária possui alguns inconvenientes, tais como: correlação de parâmetros, dificuldades com precisão em polinômios de graus muito elevados e dificuldade com respeito à confiabilidade.

A escolha do modelo matemático utilizado para minimizar as distorções tem implicações fundamentais em aspectos de precisão, em problemas de mau condicionamento de sistemas, na eficiência numérica e na acurácia dos resultados obtidos.

A relação geométrica entre espaços de dois planos pode ser observada na FIGURA 1. O espaço E é o espaço da imagem de referência e o E' é o espaço da imagem de ajuste. Neste caso, o objetivo é calcular os parâmetros da transformação geométrica do espaço E' para o espaço E que melhor representa a metodologia deste trabalho.



FIGURA 1 – RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE DOIS ESPAÇOS (E E E')
 FONTE: Adaptado LUGNANI, 1987

O estudo geométrico de um objeto em dois espaços é geralmente feito mediante um conjunto de pontos dados em ambos os espaços (LUGNANI, 1987).

2.2.1 Etapas da Correção Geométrica

No processo tradicional para minimizar as distorções geométricas de imagens de satélite é necessária a ação do homem para manualmente identificar e localizar pontos de controle que sejam visíveis na imagem. As coordenadas dos mesmos devem ser obtidas em um mapa, de forma precisa e acurada, ou em uma imagem retificada. O processo manual exige muita atenção e cuidado do operador na identificação e comparação dos pontos de controle entre a imagem e o mapa. Os pontos identificados pelo operador são utilizados para ajustar, pelo método dos mínimos quadrados, (MMQ), os parâmetros da transformação geométrica, modelando as deformações. Para que a correção geométrica seja acurada, os pontos devem ser distribuídos em toda a imagem e seu número maior que o número mínimo de pontos exigidos pela transformação geométrica utilizada.

Brown (1992) relata que o registro de imagem é fundamental no processamento e análise de imagens e é usado para equiparar duas ou mais imagens considerando, por exemplo, épocas diferentes, sensores diferentes ou pontos de vista diferentes.

Segundo Fonseca e Manjunath (1996) o processo de correção geométrica consiste em seguir quatro passos:

- Identificação da feição: identifica o grupo de feições relevantes nas duas imagens, tais como: cantos (bordas), interseção de linhas, contornos de regiões, regiões, etc.;
- Equiparação das feições: estabelece a correspondência entre as feições, tal que, cada característica da imagem a ser corrigida possa ser combinada com sua correspondente na imagem de referência;
- Parâmetros da transformação geométrica espacial: determinar os parâmetros da transformação geométrica ou função de mapeamento para que estes possam equiparar o restante dos pontos na imagem usando informações dos pontos de controles.
- Interpolação: reamostragem da imagem a ser corrigida, utilizando a função de mapeamento para produzir o alinhamento com a imagem de referência.

Fedorov (2002) relata que o processo de correção geométrica pode ser realizado em três etapas: obtenção de pontos de controle, determinação de função de transformação e sobreposição de imagens. E que a obtenção dos pontos de controle constitui-se da extração de feições como, por exemplo, cantos, linhas e contornos e da combinação das feições extraídas. Ao invés de se trabalhar com cantos, linhas e contornos como pontos de controle, pode-se trabalhar com os centróides dos segmentos presentes nas imagens, sendo esta uma variação da correção geométrica por pontos de controle. A prática de utilizar centróides foi avaliada por Ton e Jain (1989), estes autores usaram os centróides das regiões presentes nas imagens como pontos de controle, aplicando a técnica de agregamento e relaxação para fazer a equiparação entre os centróides.

No mapeamento direto (FIGURA 2), os *pixels* da imagem da entrada podem ser transferidos à imagem da saída. Isto é, cada posição do *pixel* da entrada (k, l) pode ser mapeado à posição (i, j) na imagem da saída. O mapeamento direto é feito para um conjunto de pontos na imagem de entrada regularmente espaçados. Entretanto os seus homólogos na imagem de saída apresentam-se com espaçamento irregular apresentando falhas na imagem de saída devido à sobreposição de *pixel* em algumas posições da imagem de saída.

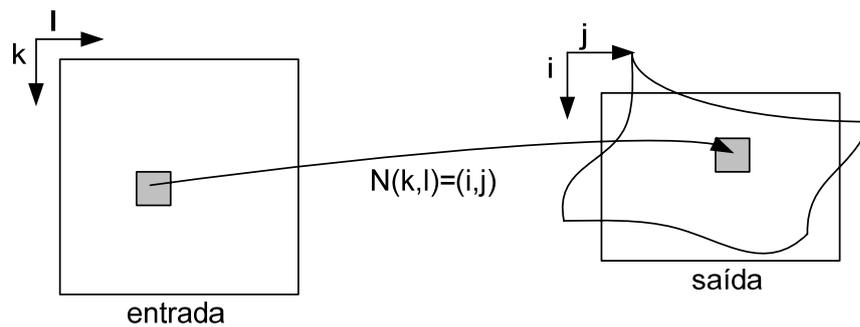


FIGURA 2 – MAPEAMENTO DIRETO
 FONTE: Adaptado NIBLACK, 1986

Uma alternativa para os problemas do mapeamento direto, que são sobreposição de *pixels*, e *pixels* sem correspondência na imagem de entrada ficando assim buracos negros na imagem de saída, é usar o mapeamento inverso (FIGURA 3).

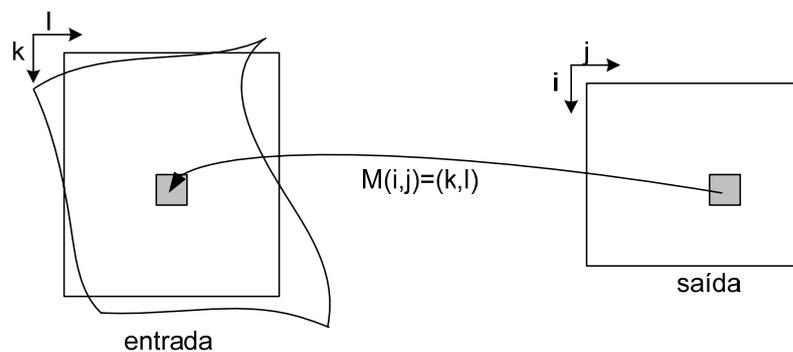


FIGURA 3 – MAPEAMENTO INVERSO
 FONTE: Adaptado NIBLACK, 1986

No mapeamento inverso a transformação M é que mapeia o valor (i, j) para (k, l) . Para cada posição do *pixel* de saída (i, j) , calcular (k, l) estimando $M(i, j)$, para dar a posição correspondente da imagem da entrada e, nesta posição, escolher um valor do *pixel*, e atribuí-lo ao *pixel* de saída (i, j) . Quando todos os valores estiverem sido atribuídos aos *pixels* (i, j) , a imagem de saída estará completa.

Segundo Barbosa (1989) o mapeamento inverso é também conhecido como o processo pelo qual é possível a regularização da grade da imagem corrigida, e este pode ser realizado através de transformações polinomiais ou projetivas.

As funções de transformação utilizadas para fazer o mapeamento entre as imagens são f_x e f_y como segue:

$$k = f_x(i, j) \tag{1}$$

$$l = f_y(i, j)$$

Tais funções relacionam as coordenadas da imagem de referência na forma (i,j) com as coordenadas da imagem de ajuste na forma (k,l).

No primeiro passo são determinados dois conjuntos de pontos de controle, ou seja, são determinados dois subconjuntos de pontos um da imagem I_1 e outro da imagem I_2 . Os pontos da imagem I_1 devem ser correspondentes com os pontos da imagem I_2 , isto é, para cada ponto da imagem I_1 existe um correspondente na imagem I_2 . Esses pontos são chamados de pontos controle, e são utilizados para estimar os parâmetros da função de mapeamento, para que esta possa relacionar o restante de pontos nas imagens. A função de mapeamento é escolhida entre os vários tipos de transformações.

A última fase do processo de correção geométrica é a reamostragem, onde para cada ponto da imagem corrigida deve-se associar um nível de cinza, em função da imagem bruta. A determinação do nível de cinza para cada ponto na imagem referenciada é obtida a partir da interpolação, e os métodos mais utilizados para fazer a reamostragem são: vizinho mais próximo, interpolação bilinear e convolução cúbica.

O interpolador vizinho mais próximo atribui ao valor digital do *pixel* da imagem corrigida, o mesmo valor digital do *pixel* que se encontra mais próximo da posição a ser ocupada. A vantagem deste interpolador é que ele preserva o valor digital da imagem original, ou seja, não gera novos valores interpolados. No entanto este interpolador produz um efeito serrilhado à imagem devido à repetição ou à omissão de valores digitais.

O interpolador bilinear faz com que o valor digital a ser atribuído ao *pixel* da imagem corrigida seja determinado a partir do valor dos 4 *pixels* vizinhos, ou seja, o valor digital é calculado fazendo interpolações lineares em linha e coluna. Este interpolador altera os valores digitais da imagem original, tornando-a mais suave, isto é, perde-se contraste.

Para o cálculo do valor digital do novo *pixel* utilizando o interpolador por convolução cúbica, a interpolação é realizada ajustando os valores digitais dos 16 *pixels* mais próximos. Este interpolador gera uma imagem esteticamente melhor, mas altera o valor digital da imagem original, sem prejudicar o contraste.

A correção geométrica de duas imagens pode ser efetuada usando imagens do mesmo sensor, com a mesma resolução espacial, ou utilizando dados de sensores com diferentes resoluções geométricas. A correção das distorções sistemáticas é feita comparando áreas em comum, que representem a mesma realidade física. Para Fedorov (2002) fazer a correção das distorções sistemáticas de imagens de sensores diferentes é um desafio devido às diferenças radiométricas entre elas.

2.3 *MATCHING* – CORRESPONDÊNCIA

De acordo com Heipke (1997) pode-se definir *matching* como sendo o procedimento para o estabelecimento de correspondências entre vários conjuntos de dados, que podem ser associados a imagens, mapas, modelos de objetos e dados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A identificação de objetos por uma malha relacional apresenta os seguintes princípios:

- Construção do modelo relacional para a classe de objetos;
- Construção da descrição relacional da imagem;
- Cálculo do isomorfismo (melhor correspondência parcial) entre a imagem e o modelo.

A FIGURA 4 apresenta um exemplo ilustrativo de malha relacional. O modelo 1 é gerado a partir dos segmentos da imagem 1 e modelo 2 a partir dos segmentos da imagem 2. Neste caso o *matching* é a comparação entre o modelo 1 e modelo 2.

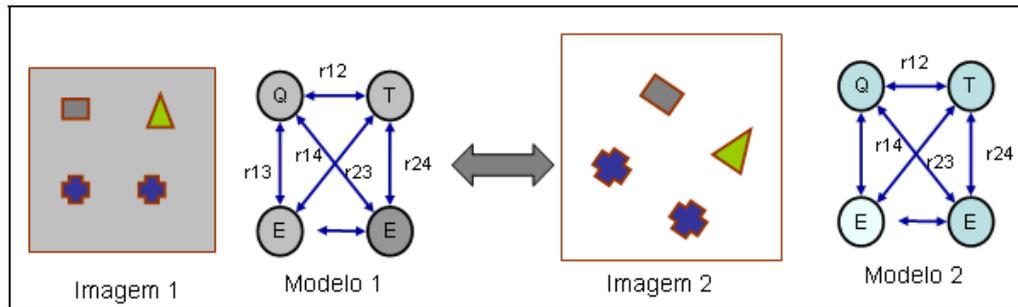


FIGURA 4 – IDENTIFICAÇÃO POR MALHA RELACIONAL

Segundo Duarte (2004) a interpretação estrutural de uma cena pode ser realizada a partir de um modelo esquemático genérico, ou seja, o reconhecimento de uma imagem pode ser visto como o processo de associação entre regiões (objetos) da imagem e objetos presentes no modelo esquemático utilizado.

Segundo Duarte *apud* Boeres¹ (2002), os grafos são estruturas matemáticas adequadas para a descrição estrutural de cenas. A representação de cenas por meio de grafos é feita associando-se a cada vértice um objeto, as arestas representam as relações entre tais objetos.

De acordo com Duarte (2004) a correspondência dos grafos apresenta diversos fatores que complicam o reconhecimento dos grafos correspondentes. O primeiro problema que complica o reconhecimento é a segmentação de objetos e as eventuais imprecisões nas imagens. Além disso, geralmente o modelo utilizado apresenta um aspecto esquemático, em virtude de sua generalidade, o que pode resultar em diferenças em relação à imagem. Uma cena pode conter diferentes objetos similares e um objeto pode apresentar variações na forma em diferentes locais de uma cena. A estrutura dos objetos, essencial para o processo, não é única, ou seja, diversos modelos estruturais podem ser extraídos de uma mesma cena.

Os problemas de correspondência de grafos podem ser abordados de maneira exata, por isomorfismo, ou através de uma correspondência inexata em que o mapeamento dos grafos não é biunívoco, ou seja, a estrutura das arestas não é necessariamente mantida. No primeiro caso, deseja-se obter um mapeamento bijetivo entre os vértices dos dois grafos comparados, de forma que a estrutura das arestas seja

¹ BOERES, M. C. S. Heurísticas para reconhecimento de cenas por correspondência de grafos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

mantida. A segunda abordagem pode ser utilizada em aplicações de reconhecimento que apresentam dificuldades para o uso de isomorfismo.

A abordagem exata é ideal para situações nas quais se consegue facilmente estabelecer correspondências precisas entre o modelo esquemático e a imagem.

2.4 ALGORITMOS GENÉTICOS

Os Algoritmos Genéticos são métodos de pesquisa estocástica de uma solução ótima para um problema, baseada nos princípios da seleção genética natural (GOLDBERG, 1989). Luger (2004) diz que os algoritmos genéticos são baseados numa metáfora biológica: eles vêem o aprendizado como uma competição numa população de soluções evolutivas, candidatas ao problema. A função de aptidão avalia cada solução decidindo se ela contribuirá ou não para a próxima geração de soluções. Então por meio de operações análogas a transferência de genes na reprodução sexual, o algoritmo cria uma nova população de soluções candidatas a resolver o problema. Supondo que “P(t)” defina a população de soluções candidatas, “ x_i^t ”, no tempo “t”:

$$P(t) = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t\} \quad (2)$$

A forma geral dos algoritmos genéticos pode ser apresentada conforme o procedimento dos algoritmos genéticos, onde se tem:

início

ajuste o tempo $t:=0$;

inicialize a população P(t);

enquanto a condição de parada não for satisfeita faça

início

avalie a aptidão de cada membro da população P(t);

selecione membros da população p(t) com base na aptidão;

produza os descendentes destes pares usando operadores genéticos;

substitua, com base na aptidão, candidatos de P(t), por estes

descendentes;

ajuste o tempo $t:=t+1$

fim

fim.

A utilização dos algoritmos genéticos se justifica para a solução de problemas nos quais é difícil, ou impossível, encontrar-se uma solução única pela resolução de equações matemáticas. Nesses casos, por ser difícil o cálculo da solução do problema, a opção é buscar uma solução por meio de processos de otimização.

Basicamente, os algoritmos genéticos podem ser descritos da seguinte maneira:

- A solução do problema a ser resolvido é representada como um conjunto de números;
- A série de números associados a uma provável solução é representada como uma cadeia binária, imitando uma cadeia genética. Esta cadeia descreve um “indivíduo”;
- Como a solução correta é desconhecida, um conjunto grande de soluções é proposto, geralmente de forma aleatória, formando uma “população”. Esta população é então composta por um conjunto de possíveis soluções para o problema, ou “indivíduos”;
- Uma função de aptidão é proposta. Esta função descreve o grau de validade da solução, ou sua aptidão para a solução do problema. Fazendo a analogia genética, a função de aptidão descreve a aptidão do indivíduo para sobreviver no meio;
- Com esta população, o processo evolutivo é iniciado. Este processo assume a forma de um processo iterativo, no qual as melhores soluções são preservadas e combinadas para gerar novas soluções, teoricamente mais adequadas. As piores soluções, pelo contrário, são descartadas. O processo, teoricamente, deve convergir para uma solução ótima ou sub-ótima;
- O processo iterativo termina quando um critério de aptidão é satisfeito pelo indivíduo mais apto, ou por um subconjunto de indivíduos mais aptos, ou quando um limite de número de iterações é atingido. Após sua finalização, a solução mais apta é decodificada do formato binário para obter o conjunto de números da solução ótima para o problema.

O processo iterativo de evolução é regido por regras que definem a taxa de seleção, ou quantidade de sobreviventes de uma geração, o método de cruzamento e a ocorrência de eventuais mutações.

A seleção, dentro dos algoritmos genéticos, é artificial e obedece a regras fixadas pelo usuário. Sua função é escolher, dentro do conjunto de soluções disponíveis, um subconjunto de soluções para a geração de uma população, a ser utilizado em uma seguinte iteração. Entre as técnicas de seleção mais utilizadas podem ser citadas: elitismo, por sorteio (roleta) e torneio (GOLDBERG, 1989).

Para a seleção por elitismo, os indivíduos são ordenados de forma decrescente de acordo a sua aptidão e os indivíduos com valores mais altos são selecionados. O elitismo é a técnica mais utilizada para melhorar a convergência destes dos algoritmos genéticos. É uma adição aos métodos de seleção que força os algoritmos genéticos a reter um certo número de "melhores" indivíduos em cada geração (YEPES, 2000). Tais indivíduos podem ser perdidos se não forem selecionados para reprodução ou se forem destruídos por cruzamento ou mutação. Em outras palavras, o elitismo seleciona os melhores cromossomos de uma população e transporta-os à geração seguinte. Esta técnica consiste basicamente em realizar o processo de seleção em duas etapas:

- Seleciona-se uma elite de “r” membros entre os melhores da população inicial, os quais são incorporados diretamente na população final;
- Obtém-se a população final a partir dos (n - r) elementos restantes da população inicial de tamanho “n”.

Em geral a elite tem um tamanho reduzido, em torno de 2-5%. Quando é utilizada a técnica do elitismo, o algoritmo converge mais rapidamente. Como na natureza, os indivíduos mais aptos podem, além de reproduzir-se mais, ter uma vida mais longa, muitas vezes sobrevivendo de uma geração para a outra e se reproduzindo. O efeito negativo desta estratégia prende-se ao fato de que a população inicial pode convergir para uma população homogênea de superindivíduos, não explorando outras soluções. Tem-se uma solução subestimada do problema.

Na técnica de seleção por sorteio (roleta), indivíduos são escolhidos aleatoriamente. A técnica de seleção por torneio consiste em comparar a aptidão de um

subconjunto, escolhido aleatoriamente, e selecionar o indivíduo mais apto dentro deste conjunto. Este processo é repetido várias vezes até atingir o número desejado de indivíduos selecionados.

Uma vez executada a seleção, o conjunto de indivíduos selecionados dará origem à nova geração. Como o conjunto selecionado é menor que o tamanho da população utilizada, novos indivíduos são produzidos através do cruzamento dos indivíduos selecionados. O processo de geração de novos indivíduos obedece a leis propostas pelo usuário e são descritas como operadores genéticos de cruzamento (*cross-over*) e mutação.

Para esses operadores genéticos é importante analisar alguns parâmetros que influem no comportamento dos algoritmos genéticos, tais como, taxa de cruzamento e taxa de mutação, para que se possa estabelecê-los conforme as necessidades do problema e dos recursos disponíveis (CATARINA, 2000).

- Taxa de Cruzamento: determina a probabilidade em que um cruzamento ocorrerá. Quanto maior for esta taxa, mais rapidamente novas estruturas serão introduzidas na população. Mas se esta for muito alta, a maior parte da população será substituída, e pode ocorrer perda de estruturas de alta aptidão. Com um valor baixo, o algoritmo pode tornar-se muito lento.
- Taxa de Mutação: determina a probabilidade em que uma mutação ocorrerá. Uma baixa taxa de mutação previne que uma dada posição fique estagnada em um valor, causando uma convergência prematura, além de possibilitar que se chegue a qualquer ponto do espaço de busca. Com uma taxa muito alta a busca se torna essencialmente aleatória.

3 METODOLOGIA

A seguir é descrita a proposta metodológica para este trabalho. Inicialmente, os materiais e métodos são apresentados e posteriormente, a área de estudo. Depois será descritos os métodos necessários para as etapas da correção geométrica proposta.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

As imagens utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho foram imagens multitemporais da região do município da Lapa, no Estado do Paraná, tais como: as imagens do satélite CBERS II/CCD com resolução espacial de 20 metros, dos meses de novembro de 2004, e de janeiro e agosto de 2006, adquiridas do Banco de Imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE) disponíveis para sociedade; as imagens ASTER com resolução espacial de 15 metros, dos meses de maio de 2003 e abril de 2006, disponibilizadas gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) mediante um pedido das imagens para fins de pesquisa; as imagens LANDSAT, a de julho de 2000 com resolução espacial de 28,5 metros foi adquirida na página da *Global Land Cover Facility: Earth Science Data Interface*², e a imagem LANDSAT de dezembro de 2002 de resolução espacial de 30 metros foi disponibilizada pelo Pesquisador Martini, da Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR/INPE).

Foi utilizada também uma carta digital, fornecida pela primeira Divisão de Levantamento da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG).

Os programas utilizados no processamento das imagens digitais foram: *ENVI 4.2*, *eCognition 4.0*, *Matlab 5.3* e *ARC-GIS 9.0*.

Foram utilizados neste trabalho os algoritmos genéticos simples propostos por Goldberg (1989). O programa foi adaptado por Silva (2006), de acordo ao problema proposto. Os algoritmos genéticos foram desenvolvidos em ambiente *Matlab* baseado

² Disponível no site <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

no *The Genetic Algorithm Optimization Toolbox (GAOT)*³ for Matlab 5. No *toolbox* encontra-se toda a seqüência necessária para criar os algoritmos genéticos de acordo com o problema da pesquisa.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no município da Lapa-PR. Segundo a Prefeitura Municipal da cidade a economia agropecuária tem predominância de atividades agrícolas em regime familiar, sendo 2250 mini e pequenos produtores e 780 médios e grandes, com a seguinte distribuição (TABELA 2): Dados disponíveis no site da Prefeitura Municipal da Lapa-PR.

TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO DOS TIPOS DE CULTIVOS E ÁREA CULTIVADA

TIPOS DE CULTIVOS	ÁREA CULTIVADA (hectares)
Lavouras anuais	52,5
Lavouras permanentes	1,164
Pastagens cultivadas	26,5
Pastagens naturais	20,1
Reflorestamento	23,75
Matas naturais	35,4
Outras áreas	45,293
Total	204,707

FONTE: Adaptado PREFEITURA MUNICIPAL DA LAPA, 2007

Cultiva-se soja, milho, cevada, feijão, trigo, fumo, batata, erva-mate e frutas. Há também o desenvolvimento da apicultura e da pecuária de corte, de leite, suinocultura, avicultura, agricultura orgânica e atividade florestal. A área a ser estudada pode ser observada na FIGURA 5.

³ Disponível no site <http://www.ise.ncsu.edu/mirage/GAToolBox/gaot/>.

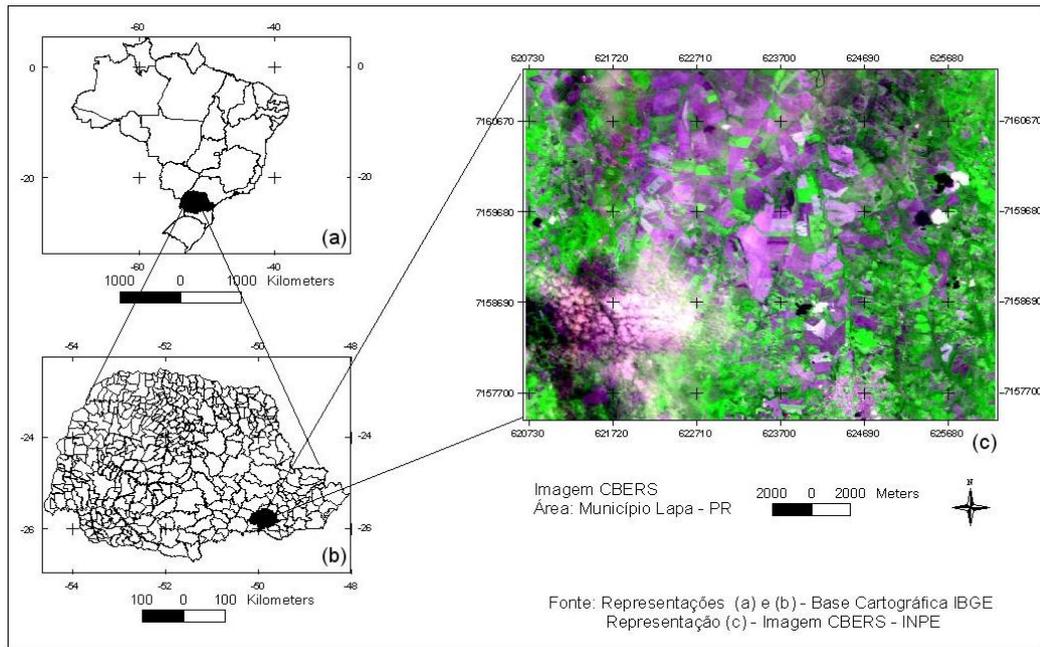


FIGURA 5 - ÁREA DE ESTUDO

3.3 CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Para realizar a correção geométrica de imagens multitemporais de diferentes sensores é necessário desenvolver métodos de correção geométrica de imagens automáticos ou semi-automáticos com eficiência computacional, uma vez que a combinação de imagens adquirida por sensores com características diferentes pode melhorar efetivamente o processo de extração de informação. Mas antes da combinação e análise de dados é necessário fazer a correção geométrica das imagens adquiridas por sensores a bordo de diferentes plataformas e com diferentes órbitas.

Na análise multitemporal de imagens, o objetivo é detectar mudanças que tenham ocorrido em um determinado intervalo de tempo. Um método simples de detectar estas modificações em um par de imagens é sobrepô-las e realizar operações como de subtração entre bandas que mostram as mudanças entre elas. Porém, como estas imagens são tomadas sob condições e épocas diferentes, podem ocorrer modificações no uso do solo e na cobertura vegetal de uma data de imageamento para outra. Para fazer a combinação dessas imagens deve-se realizar a correção geométrica antes do processo de comparação das feições.

A correção geométrica e o georreferenciamento podem ser realizados por pontos de controle, feições lineares, áreas (centróide) e por polígonos. Um maior grau de automatização do processo de correção geométrica, seja utilizando feições lineares, áreas ou polígonos, pode ser alcançado automatizando a identificação de pontos, ou feições, de controle na imagem. Para isto, técnicas de segmentação são geralmente utilizadas numa primeira etapa.

3.4 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE REFERÊNCIA

A imagem de referência, CBERS II janeiro de 2006, resolução espacial de 20 metros foi referenciada a partir de uma carta num sistema de projeção cartográfica, UTM, e esta imagem é utilizada como padrão para registrar as imagens de ajuste. As transformações espaciais ou de mapeamento utilizadas para estabelecer a relação funcional entre os dois espaços imagem e carta, normalmente utilizadas para imagens de média resolução espacial são as rígidas, isogonais, afins e polinomiais. Segundo Fonseca (1999) a escolha adequada da função de transformação é de fundamental importância para a qualidade da correção geométrica. Neste caso a função de transformação utilizada foi a afim geral, também denominada de equação polinomial de primeiro grau, necessitando-se assim apenas de três pontos para calcular os 6 parâmetros (rotação, duas translações, duas escalas e não-ortogonalidade) deste modelo matemático. Esta transformação pode corrigir alguns erros residuais ainda existentes após a correção geométrica de sistema. Os parâmetros desta transformação geométrica são determinados, neste caso, usando-se os pontos de controle, modelando matematicamente a distorção da imagem em relação a carta topográfica.

A imagem escolhida para fazer a correção geométrica imagem-mapa é da data de janeiro de 2006. Esta foi visualizada utilizando-se a composição R3G2B4 (bandas 4, 3 e 2) do satélite CBERS II. A FIGURA 6 representa a imagem com a distribuição dos pontos que foram utilizados para definir a transformação espacial, imagem-mapa.

A imagem referência, ou padrão, foi referenciada a partir de uma carta digital. A mesma está no sistema de projeção cartográfica UTM. Para efetuar a correção da imagem de referência buscaram-se pares de pontos claramente identificáveis na

imagem e na carta. Foram utilizados pontos visíveis na imagem tais como: cruzamento de rios e estradas. Estes pontos foram escolhidos de forma que ficassem distribuídos em toda a extensão da imagem. Com os pontos de controle definidos, calculou-se os parâmetros da transformação geométrica. A transformação geométrica utilizada para calcular os parâmetros entre a carta topográfica e a imagem foi a transformação polinomial de primeiro grau, afim geral no plano. O método de reamostragem utilizado para gerar a imagem referenciada foi o bilinear, que é uma técnica simples e consiste em interpolar um valor a partir dos 4 vizinhos mais próximos, fazendo, assim, interpolações lineares em linha e coluna.

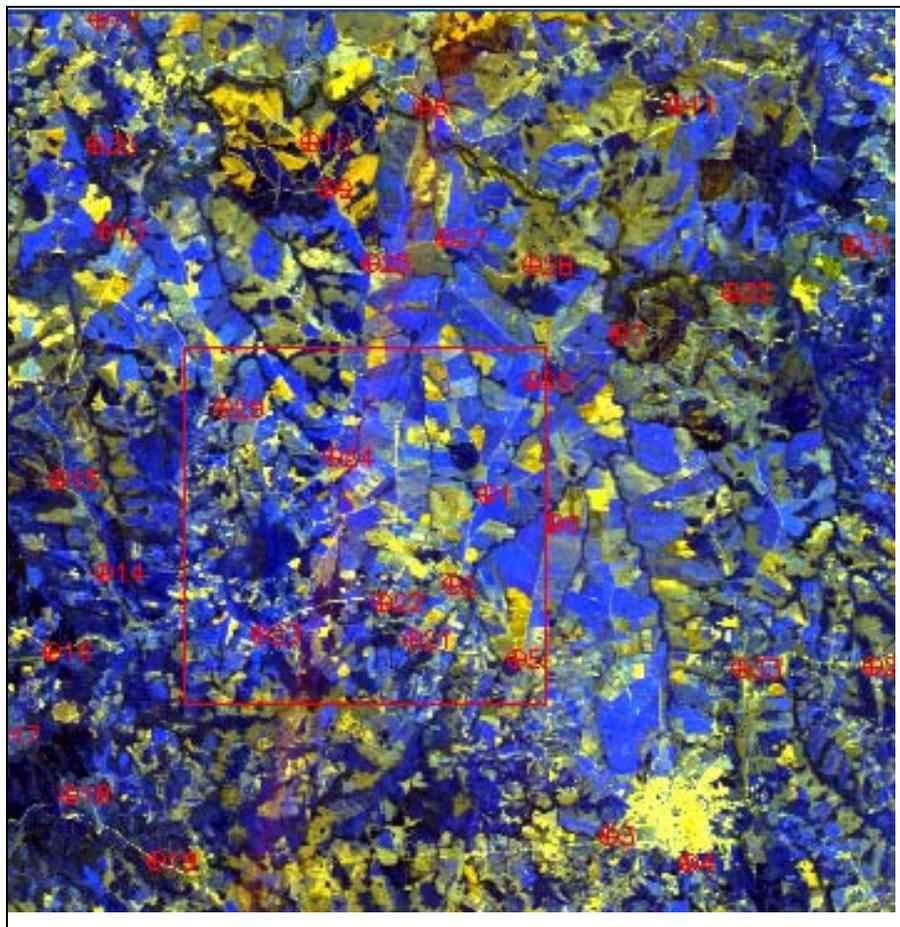


FIGURA 6 - IMAGEM CBERS II DE JANEIRO DE 2006 COM OS PONTOS DE CONTROLE

Percebe-se que a área de estudo é muito pequena, isto acontece porque a princípio desejava-se fazer o monitoramento das plantações de soja de algumas fazendas no município da Lapa-PR, uma vez que o projeto de pesquisa faz parte do

programa GEOSAFRAS. Como se havia coletados pontos para determinação das áreas de soja e a identificação das mesmas nas imagens orbitais. Então, optou-se por continuar com a mesma área de estudo para desenvolver a metodologia de semi-automatização do processo de correção geométrica.

As coordenadas dos pontos de controle podem ser observadas na TABELA 3, onde é apresentado também a discrepância entre os valores previstos e os verdadeiros, o valor total do erro cometido em cada ponto, erro quadrático (e) e Erro Médio Quadrático (RMS – *Root Mean Square Error*), o qual avalia a qualidade da transformação matemática utilizada e deve ser calculado a partir de todos os pontos de controle.

TABELA 3 - COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE

PONTOS	E	N	ERRO (E)	ERRO (N)	ERRO QUADRÁTICO (e)
1	621850,29	7160402,67	-0,27	0,22	0,35
2	620657,74	7157342,97	-0,39	-0,71	0,81
3	625884,19	7149023,71	-0,42	0,18	0,46
4	628507,17	7148202,29	-0,16	-0,53	0,55
5	622817,64	7154947,41	0,2	0,29	0,35
6	624022,66	7159460,74	0,13	-0,07	0,15
7	626124,73	7165743,56	-0,04	-0,46	0,46
8	619682,16	7173267,69	0,27	0,17	0,32
9	616536,76	7170482,56	-0,09	-0,16	0,19
10	615913,23	7172048,33	0,1	0,28	0,3
11	628051,42	7173392,4	0,68	-0,64	0,94
12	608960,47	7176165,84	0,07	0,04	0,08
13	609128,4	7169090,26	-0,04	0,69	0,69
14	609180,32	7157680,15	-0,04	-0,06	0,07
15	607671,32	7160797,8	0,06	-0,48	0,48
16	607415,08	7155074,99	0,02	-0,07	0,07
17	605706,78	7152284,76	-0,58	-0,05	0,58
18	608012,98	7150362,92	0,4	0,09	0,4
19	610902,86	7148099,42	0,42	0,26	0,49
20	634612,15	7154766,44	0,38	-0,37	0,52
21	619333,15	7155510,83	0,49	0,29	0,57
22	618361,61	7156753,14	-0,36	0,07	0,37
23	614316,15	7155686,03	-0,15	-0,18	0,23
24	616737,05	7161579,02	-0,39	-0,3	0,49
25	617963,43	7168077,24	0,11	0,03	0,12
26	623314,9	7164175,12	-0,19	0,47	0,5
27	620384,34	7168889,51	0,2	-0,1	0,22
28	623251,2	7168045,38	0,46	0,23	0,51
29	613075,05	7163181,9	0,51	0,18	0,54
30	608832,00	7171937,22	-0,51	-0,44	0,67
31	633881,24	7168710,64	-0,66	0,25	0,71
32	629885,36	7167153,97	-0,74	0,19	0,76
33	630253,14	7154617,67	0,53	0,69	0,87
				RMS	0,50

O erro residual nas direções E e N é o quanto o ponto calculado pela transformação de mapeamento se afasta do ponto de controle, ou seja é a discrepância entre o valor previsto e o verdadeiro.

O erro quadrático (e) mede o erro de ajuste do ponto ao modelo de mapeamento e pode ser usado para verificar a precisão do ponto de controle. Se o valor do erro quadrático é um valor muito grande, maior que um *pixel*, pode inferir que o ponto não é bom. Calcula-se o erro quadrático para todos os pares de pontos de controle mediante a equação 3.

$$e = \sqrt{(x_1 - x_{org})^2 + (y_1 - y_{org})^2} \quad (3)$$

Onde:

x_1 : Coordenada de linha calculada na imagem não-corrigida;

y_1 : Coordenada de coluna calculada na imagem não-corrigida;

x_{org} : Coordenada original de linha dos pontos de controle na imagem;

y_{org} : Coordenada original de coluna dos pontos de controle na imagem.

O RMS medi o erro global das discrepâncias, conforme equação 4.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (4)$$

Onde:

n : representa o número total de pontos de controle.

O RMS obtido no georreferenciamento da imagem de referência foi de 0,50 *pixel*. As imagens do sensor CCD do satélite CBERS 2 têm resolução espacial de 20 metros. Quando o RMS foi suficientemente pequeno (metade do tamanho do *pixel*), significa que a transformação espacial utilizada é apropriada para modelar a relação entre as coordenadas de imagem e UTM dos pontos de controle, obtidos a partir da

carta topográfica. Caso contrário, se o RMS for maior que o tamanho do *pixel*, as coordenadas dos pontos de controle devem ser revistas e/ou novos pontos de controle devem ser incluídos no procedimento.

A obtenção de um modelo que se adapte ao conjunto de pontos de controle utilizado não significa uma garantia que a imagem gerada será geometricamente correta. Portanto, necessita-se fazer uma última verificação para comprovar se o modelo utilizado serve para outros pontos.

3.5 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA IMAGEM CORRIGIDA

Para a verificação da exatidão do referenciamento cartográfico realizado necessita-se de um novo conjunto de pontos com coordenadas conhecidas, pontos diferentes aos pontos de controle utilizados na avaliação da qualidade do modelo. Estes pontos devem ser escolhidos da mesma maneira que foram obtidos os pontos de controle, tomando os mesmos cuidados quanto à identificação, distribuição e precisão das coordenadas. O erro quadrático destes pontos deve ser determinado e o RMS calculado, caso o valor do RMS seja pequeno significa que a imagem está geometricamente correta. O conjunto de pontos utilizados para fazer a verificação pode ser observado na FIGURA 7.

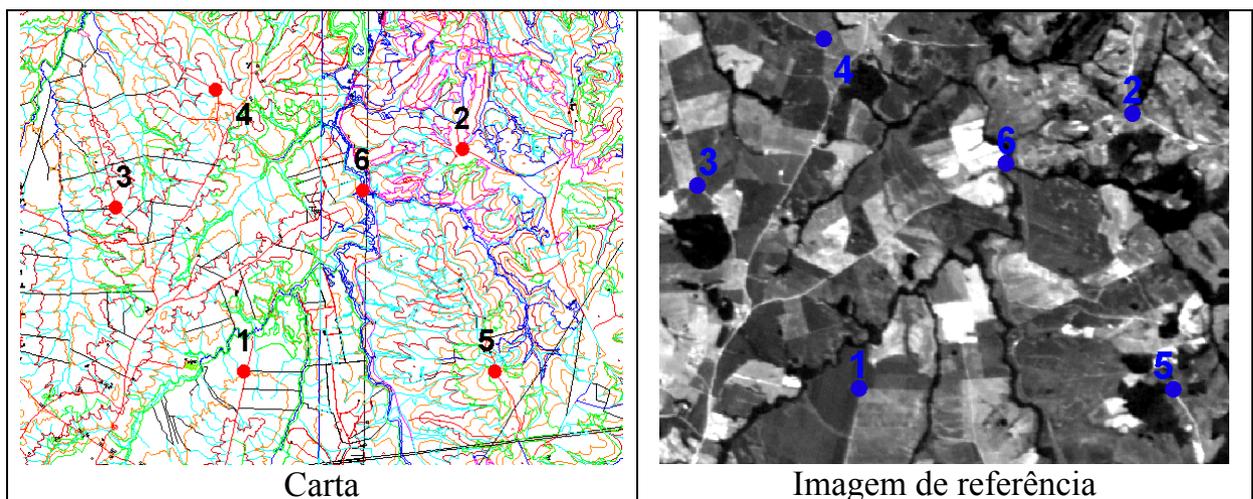


FIGURA 7 – PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA IMAGEM GEORREFERENCIADA.

As coordenadas dos pontos de verificação são apresentadas na TABELA 4, sendo o valor calculado do RMS para os seis pontos de verificação igual a 11,50 metros, que corresponde a 0,58 *pixel*.

TABELA 4 – COORDENADAS DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO EM METROS

PONTO	E (CARTA)	N (CARTA)	E (IMAGEM)	N (IMAGEM)	ERRO EM E (m)	ERRO EM N(m)	<i>e</i>	
1	623805,97	7159023,04	623804,83	7159045,12	1,14	-22,08	22,11	
2	628591,45	7163901,13	628594,83	7163895,12	-3,38	6,01	6,90	
3	620984,67	7162631,13	620984,83	7162625,12	-0,16	6,01	6,01	
4	623187,33	7165198,39	623184,83	7165205,12	2,5	-6,73	7,18	
5	629304,83	7159019,86	629306,61	7159025,12	1,78	-5,26	5,55	
6	626396,19	7163001,84	626384,83	7163005,12	11,36	-3,28	11,82	
RMS								11,5

Percebe-se que o erro quadrático (*e*) para quase todos os pontos de verificação, apresentados na TABELA 4, são menores que meio *pixel*, ou seja, menor de 10 metros. Mas o erro residual em N para o ponto 1 é maior que um *pixel*, isso se deve ao ponto 1 se localizar no limite de áreas cultivadas, podendo então, ter variações e com isso provocar deslocamento na posição do mesmo. Sendo assim, este ponto apresentou discrepância elevada, por não ser um ponto bem definido. Os demais pontos são bem definidos, caracterizados como cruzamento de estradas. Como na região da imagem em que o ponto 1 foi coletado, não é visível nenhum cruzamento de estradas, por isso que este foi utilizado como ponto de verificação.

3.6 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA

A maior parte dos estudos realizados sobre a correção geométrica de imagens até o presente momento refere-se à técnica de correção por pontos de controle, ou seja, por um processo manual. Neste processo pontos identificáveis na imagem é realizado por um operador, e esses pontos são geralmente pontos notáveis, ou seja, cruzamentos de estradas, cantos de pontes ou esquinas. Em áreas rurais existe dificuldade de encontrar pontos bem definidos, sendo este problema agravado pela modificação da cobertura do solo no caso de imagens multitemporais. Neste trabalho, pretende-se

desenvolver uma metodologia para semi-automatizar parte da correção geométrica imagem-imagem, para acelerar o processo da correção geométrica, uma vez que o processo manual necessita de muita interação do usuário. Os dados de entrada para o processo são dois recortes de imagens contendo a área de estudo. Estes dois recortes podem ter diferenças de rotação, translação, escala e outras como as originadas no processo de coleta dos dados, como aqueles provenientes do uso de diferentes sensores, com diferentes órbitas. Assume-se, porém, que as duas imagens foram obtidas com a visada nadiral, ou próximo da mesma. Uma das imagens é a de referência, que é referenciada a um sistema de projeção cartográfica, a segunda será corrigida com base na de referência. Neste caso, para semi-automatizar o processo de correção geométrica, inicialmente, as imagens foram segmentadas, tanto a de referência como a de ajuste. Para a realização da segmentação foram considerados os atributos espaciais, forma, e espectrais, cor, e esta segmentação é a FNEA (*Fractal Net Approach*) multiresolução, realizada com os aplicativos do programa *eCognition*.

As regiões obtidas na segmentação foram utilizadas para determinar a correspondência geométrica entre as duas imagens, identificando áreas homólogas no par de imagens. A partir do centróide e da área dos segmentos foi gerada uma malha relacional, e esta malha foi comparada nas duas imagens por meio dos algoritmos genéticos. Os parâmetros da transformação afim foram calculados a partir de ajustamento paramétrico utilizando os centróides dos segmentos como pontos de controle, usados para calcular a malha relacional. Finalmente, a correção geométrica foi executada, utilizando para isto o centróide dos segmentos positivamente identificados nas duas imagens e a área dos segmentos. Depois, foi realizada a verificação da transformação a partir de pontos de verificação coletados nas imagens e comparação dos mesmos na imagem de referência, sendo efetuado o cálculo do erro médio quadrático para cada imagem de ajuste em relação à imagem de referência. Foi executada também a análise da imagem corrigida de acordo com a distribuição espacial dos centróides.

3.6.1 Segmentação

O primeiro passo para a realização deste trabalho consiste em segmentar a imagem. A segmentação é o processo que subdivide uma imagem em suas partes ou objetos constituintes, ou seja, fragmenta uma imagem em regiões homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como, por exemplo, o valor digital dos *pixels*, forma ou textura. O nível de subdivisão depende do problema a ser resolvido, ou seja, deve finalizar quando os objetos de interesse forem totalmente isolados (GONZALEZ; WOODS, 2000). Embora o processo de segmentação tenha por finalidade encontrar regiões que atendam algum critério de homogeneidade (segmentação completa), isto freqüentemente não ocorre e apenas parte dos objetos é encontrada (segmentação parcial). Baatz e Schäpe (2000) dizem que a segmentação é um dos passos mais importantes da análise automática de imagens.

Existem diferentes maneiras de efetuar uma segmentação. Por exemplo, encontrando as bordas dos objetos (segmentos) na imagem, aplicando filtros detectores de bordas e métodos de ligação de bordas. Outra opção é a identificação de regiões por agrupamento de *pixels* similares.

O segmentador utilizado neste projeto é do segundo grupo, agrupamento de *pixels* similares, que baseia-se na homogeneidade dos valores digitais, ou seja, detecção de regiões uniformes. Na realidade, não existe um segmentador que tenha sucesso em todas as imagens. Por este motivo, diferentes abordagens são propostas para segmentar as diferentes imagens. Por exemplo, dentro do grupo de segmentadores por identificação de regiões encontram-se dois grandes subgrupos: o de crescimento de regiões e o de divisão e fusão.

O método aplicado para segmentar as imagens neste projeto é o método da segmentação multiresolução, disponível no programa *eCognition* (BAATZ; SCHÄPE, 2000).

O procedimento da segmentação multiresolução, de acordo com Baatz e Schäpe (2000), pode ser descrito como uma técnica de crescimento de regiões. O método inicia-se com um *pixel* formando um objeto ou uma região na imagem. Em cada etapa um par de objetos é agrupado formando um objeto maior. A decisão de

fusão é baseada em critério local de homogeneidade que descreve a similaridade de objetos adjacentes. O critério de homogeneidade não é somente a atribuição da fusão como sendo adequada ou não, um custo (peso) de fusão é atribuído a cada possível fusão. Esses custos representam o grau de adequação, parâmetro a escala. Para um possível agrupamento o grau de adequação é avaliado e a fusão é realizada, caso seja menor que um dado grau de adequação de referência, o procedimento é encerrado quando não existem mais fusões possíveis. Um grau de adequação de referência pequeno permite menos fusões do que um maior. Portanto, o tamanho dos objetos resultantes crescerá com o valor do grau de adequação de referência. Devido a esta propriedade, um parâmetro de escala é definido para expressar o grau de adequação de referência. Uma fusão com um melhor grau de adequação (menor valor) que o parâmetro de escala satisfaz o critério de homogeneidade. Os dois principais componentes da segmentação multiresolução são:

- Decisões heurísticas para determinar os objetos da imagem que serão fundidos em cada etapa;
- Definição de uma homogeneidade dos objetos da imagem para calcular o grau de adequação para um par de objetos da imagem.

O agrupamento de objetos segue uma decisão heurística começando com um objeto arbitrário **A** qualquer, e um outro objeto **B**, vizinho a **A**. Os objetos **A** e **B** são agrupados utilizando-se um determinado critério de tolerância, baseado no critério de homogeneidade. Satisfeita esta condição, então, **A** e **B** se ajustam e busca-se um agrupamento com um terceiro objeto **C**. Então se **C** é vizinho de **B**, pode ser agrupado ao objeto **B**, e também, o objeto **A** deve-se juntar a **C**, (**C=A**). Caso isto não ocorra, repete-se o mesmo procedimento tomando **B** por **A** e **C** por **B**. Este tipo de heurística permite determinar o melhor ajuste entre os pares de objetos na vizinhança de **A** seguindo o gradiente de homogeneidade.

Baatz e Schäpe (2000) ainda relatam que cada decisão heurística necessita de um dado objeto **A** como ponto inicial para a busca do par de fusões. Para obter segmentos adjacentes de tamanho similar e assim de qualidade comparável, o procedimento simula o crescimento uniforme e simultâneo dos segmentos de uma cena em cada etapa e também para o resultado final. Assim, o procedimento começa em

qualquer ponto na imagem com um objeto de um *pixel*. Uma seqüência de tratamentos baseada em contador binário garante uma distribuição espacial regular dos objetos.

O critério de semelhança é usado para definir a uniformidade dos segmentos, e os dois critérios usados para escrever o agrupamento dos segmentos na imagem são:

- critério de cor (heterogeneidade espectral), que é a variação em heterogeneidade que ocorre quando existe o agrupamento de dois objetos, descrito pela variação do desvio padrão dos valores espectrais considerando seus pesos; e
- critério de forma (suavização e compactação), é um valor que descreve a melhora da forma em relação a dois diferentes modelos descrevendo formas ideais.

A descrição de heterogeneidade espectral de um objeto é composta pelo somatório dos desvios padrão dos valores espectrais em cada banda (σ_c) das imagens empregadas, ponderados pelo peso atribuído para cada banda (ω_c) conforme a equação 5:

$$h_e = \sum_c \omega_c * \sigma_c \quad (5)$$

Em muitos casos a minimização exclusiva da heterogeneidade espectral conduz a segmentos ramificados, ou seja, objetos com bordas com formato irregular. Por esta razão é útil combinar o critério da heterogeneidade espectral com o critério da heterogeneidade espacial, para reduzir o objeto de uma forma compacta e contornos suaves. A heterogeneidade espacial é descrita pela razão do perímetro do objeto l pela raiz quadrada do número de pixels que o formam n que considera a heterogeneidade como um desvio da forma compacta (BAATZ; SCHÄPE, 1999). Para o cálculo do desvio da forma compacta utiliza-se a equação 6.

$$h_f = \frac{l}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Outra maneira de descrever a heterogeneidade de forma pode ser descrita usando a razão do perímetro (l) pelo perímetro b do menor retângulo envolvente paralelo ao raster, conforme a equação 7. Esta definição otimiza a suavidade dos contornos do segmento resultante.

$$h_f = \frac{l}{b} \quad (7)$$

A heterogeneidade de uma região pode ser, assim, descrita combinando os três critérios: espectral, compacidade e suavidade.

O parâmetro de escala (grau de adequação de referência) é uma medida da máxima variação em heterogeneidade que pode ocorrer quando do agrupamento de dois objetos. Quando um possível agrupamento de um par de objetos é examinado, um valor de fusão entre estes dois objetos é calculado e comparado com a raiz quadrada do parâmetro de escala. O critério de heterogeneidade é descrito pelo critério espectral que é a variação em heterogeneidade que ocorre quando do agrupamento de dois objetos, descrito pela variação do desvio padrão dos valores espectrais considerando seus pesos, e pelo critério de forma que é um valor que descreve a melhora da forma em relação aos dois diferentes modelos delineando formas ideais.

O valor de fusão total (f) é calculado em função da heterogeneidade espectral (h_e) e de forma (h_f), de acordo com a equação 8.

$$f = w * h_e + (1 - w) * h_f \quad (8)$$

Onde:

w : é o peso definido para a cor, $0 \leq w \leq 1$.

E os desvios padrão são ponderados pelo tamanho dos objetos, conforme a equação 9.

$$h_e = \sum_c \omega_c (n_{ag} * \sigma_{cag} - (n_{cb1} * \sigma_{cob1} + n_{cb2} * \sigma_{cob2})) \quad (9)$$

Onde:

w_c : é o peso atribuído a cada banda;

n_{ag} : é o tamanho do objeto agrupado;

n_{ob1} e n_{ob2} : são os tamanhos dos objetos em análise;

σ_{cag} : é o desvio padrão do objeto agrupado; e

σ_{cob1} e σ_{cob2} : são os desvios padrões dos objetos em análise.

O critério de forma (h_{forma}) como já descrito, consiste de dois sub-critérios: sub-critério de suavidade ($h_{suavidade}$) e de compacidade ($h_{compacidade}$), e o cálculo destes critérios é obtido pela equação 10.

$$h_{forma} = w_{compacidade} * h_{compacidade} + (1 - w_{compacidade}) * h_{suavidade} \quad (10)$$

Onde:

$w_{compacidade}$: é o peso atribuído para a compacidade.

A variação na heterogeneidade de forma causada pelo agrupamento de dois objetos é avaliada pelo cálculo da diferença entre a situação antes e depois do agrupamento. Isto resulta nos seguintes métodos de cálculo (equações 11 e 12) para a suavidade e compacidade.

$$h_{suavidade} = n_{ag} * \frac{l_{ag}}{b_{ag}} - \left(n_{ob1} * \frac{l_{ob1}}{b_{ob1}} + n_{ob2} * \frac{l_{ob2}}{b_{ob2}} \right) \quad (11)$$

$$h_{compacidade} = n_{ag} * \frac{l_{ag}}{\sqrt{n_{ag}}} - \left(n_{ob1} * \frac{l_{ob1}}{\sqrt{n_{ob1}}} + n_{ob2} * \frac{l_{ob2}}{\sqrt{n_{ob2}}} \right) \quad (12)$$

Onde:

n : é o tamanho do objeto;

l : é o perímetro do objeto; e

b : é o perímetro do retângulo envolvente do objeto paralelo ao raster.

Durante todo o procedimento de segmentação, a imagem toda é processada e objetos são gerados baseados nos critérios ajustáveis de homogeneidade e heterogeneidade em cor e forma. O ajuste do parâmetro de escala indiretamente influencia o tamanho médio dos objetos: um valor maior conduz a objetos maiores e vice-versa. Durante o processo de segmentação todos os objetos são interligados automaticamente.

Realizada a segmentação das imagens, o próximo passo é a classificação para o reconhecimento de cada elemento da imagem a uma das classes previamente selecionadas.

3.6.2 Classificação

Segundo Jensen (1996) a classificação supervisionada trata de associar a cada objetos da imagem uma das classes previamente selecionadas. O resultado final de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa de *pixels* classificados (SCHOWENGERDT, 1983). Ainda segundo este autor os algoritmos de classificação podem ser agrupados em dois grupos, os paramétricos e ou não paramétricos. Os algoritmos paramétricos assumem uma distribuição estatística particular para a classe, geralmente distribuição normal, sendo estimados então, os parâmetros da distribuição, como o vetor da média e a matriz covariância para a utilização no algoritmo de classificação. Já nos algoritmos não paramétricos não são realizadas suposições acerca da distribuição estatística da classe. As técnicas não paramétricas são muitas vezes denominadas de robustas por se bem a uma larga variedade de distribuições de classes, se as assinaturas das classes não forem razoavelmente distintas.

O primeiro passo de qualquer procedimento de classificação supervisionada, é o treinamento dos programas computacionais para o reconhecimento da assinatura das classes de interesse. E este aspecto é crítico para o sucesso de todo o processo e geralmente ocupa a maior parte do tempo do analista (SCHOWENGERDT, 1983). Existem basicamente duas formas para a obtenção da assinatura das classes, supervisionada e não supervisionada.

A classificação não supervisionada usa somente as propriedades estatísticas dos dados da imagem (valores digitais dos *pixels*) para estabelecer as fronteiras entre os conjuntos de dados que se agrupam naturalmente e, por esta razão, é também chamada de "*clustering*". Então, consiste na formação de "*clusters*" no espaço das feições (das variáveis) segundo um critério previamente definido. Em alguns classificadores (Isodata, por exemplo), o analista seleciona mais alguns parâmetros (número mínimo de *pixels/cluster*) (critério de fusão/ partição de *clusters*).

A classificação supervisionada utiliza amostras de treinamento (*training samples*) dos dados da imagem que representam áreas no terreno, cujas características são conhecidas, para estabelecer as características espectrais das classes.

Há também os classificadores orientados a objeto que, através da modelagem das inter-relações entre os objetos definidos em diferentes resoluções, oferecem recursos para que o conhecimento do especialista possa ser, na medida do possível, sistematizado e reproduzido. A classificação orientada a objeto, neste caso, é realizada por funções de associação no programa *eCognition*, o procedimento de segmentação do *eCognition* utiliza a abordagem orientada à objetos, a qual visa encontrar primitivas de objetos para servir como informações adicionais para outras segmentações ou futuras classificações. Esta classificação é baseada em regras e a veracidade de cada regra é avaliada usando lógica *fuzzy*, determinando graus de associação aos descritores dos segmentos para que estes sejam classificados.

Este método consiste de três fases: definição das classes, distinguindo suas características (ou descritores) espaciais, espectrais e topológicas; construção das rotinas de classificação a partir de conjuntos de regras *fuzzy* aplicadas aos descritores, baseadas no conhecimento do usuário; e aplicação dessas rotinas na imagem segmentada, associando graus de pertinência das classes aos segmentos e finalmente classificando os segmentos à respectiva classe cujo grau é maior (ANTUNES, 2003). Por exemplo, considerando os descritores "área" e "cor", uma regra possível é se a área for grande, e a cor for vermelho, então, tem-se uma classe de solo, na composição de uma imagem CBERS II R4G3B2. A viabilidade desta afirmação para um determinado segmento é analisada conforme a equação 13.

$$(A = grande) \cap (cor = vermelho) \quad (13)$$

$$\mu_A \cap \mu_{cor} = \mu_{solo}$$

O programa *eCognition* apresenta um ambiente para a classificação de imagens que possibilita a adoção de segmentação em diferentes níveis de escala, a utilização de descritores variados (média, brilho, tonalidade, textura, tamanho, vizinhança, etc.), disponibilizados ou construídos, além da hereditariedade entre níveis e/ou classes. Para cada nível de segmentação tem-se um nível de classificação.

Neste trabalho fez-se apenas um nível de segmentação, utilizando a segmentação multiresolução do programa *eCognition* e um nível de classificação, mediante a classificação orientada objeto e a modelagem Fuzzy sobre descritores espectrais apoiada na seleção de áreas de treinamento (amostras), procurando separar áreas cultivadas de áreas de vegetação densa.

Realizada a segmentação e classificação das imagens o próximo processo é a seleção das regiões para a realização do *matching*.

3.6.3 Seleção de Regiões de Referência e *Matching*

Os segmentos resultantes dos processos de segmentação e classificação das imagens de referência e ajuste correspondem a áreas espectralmente uniformes. Como a região de estudo demonstra uma grande dinâmica espectral devido a diferentes estádios de crescimento da cultura, e pelas imagens serem de épocas e sensores diferentes é difícil estabelecer uma correspondência entre os segmentos associados aos campos de cultivo.

A FIGURA 8 mostra áreas de vegetação densa selecionadas nas imagens segmentadas, a FIGURA 8a representa é a imagem de referência, que é uma imagem CBERSII/CCD de janeiro de 2006 e a FIGURA 8b a imagem de ajuste do sensor ASTER de abril de 2006.

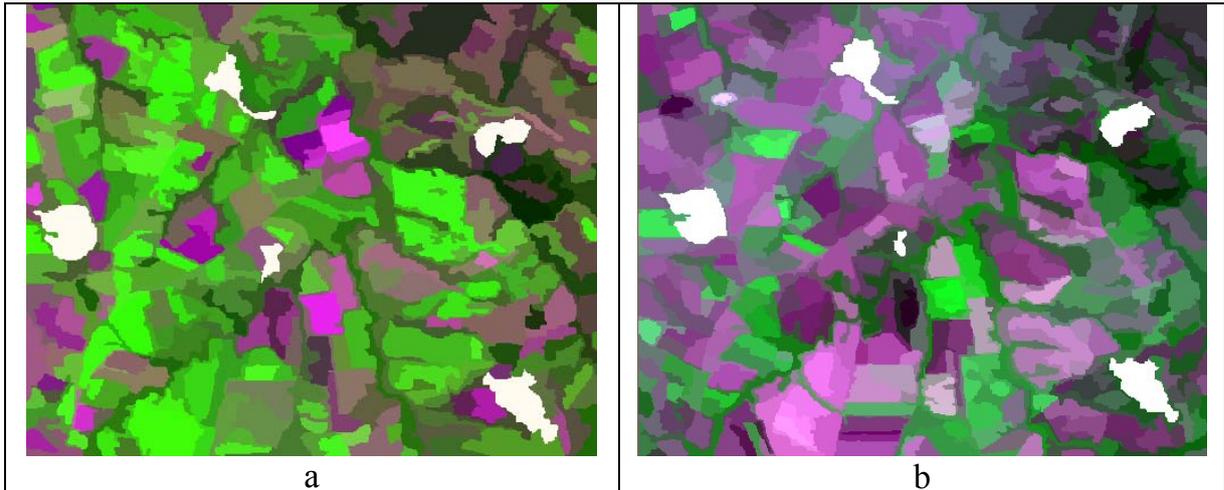


FIGURA 8 – IMAGENS DE REFERÊNCIA E AJUSTE SEGMENTADAS

Devido a diferenças espectrais decorrentes do crescimento da soja, torna-se difícil identificar os mesmos campos cultivados nas duas imagens. Porém, nas imagens também são visíveis outras áreas, cobertas por vegetação densa, bosques e remanescentes de vegetação nativa. Estas regiões não sofrem grandes mudanças espaciais nem espectrais nas imagens e podem, por isso, ser consideradas como de pouca variação. Estas regiões foram utilizadas para o processo de *matching*, ou para a estimativa da correspondência espacial entre as feições. As outras regiões foram nesta fase desconsideradas.

As FIGURAS 8a e 8b mostram duas imagens segmentadas, onde as áreas de vegetação nativa encontram-se representadas em branco. A FIGURA 9 mostra apenas as áreas de vegetação, sendo que os segmentos selecionados foram numerados. Note-se, que os segmentos da FIGURA 9b são parecidos com os da FIGURA 9a, mas os segmentos da FIGURA 9b são provenientes de uma imagem ASTER reamostrada para a resolução espacial de 20 metros, pois esta imagem tem resolução original de 15 metros. Uma vez que a imagem de referência é CBERS II/CCD e possui resolução de 20 metros. As áreas dos segmentos selecionados na imagem de referência possam não ser equivalentes à área (tamanho) na imagem de ajuste. Este tipo de problema pode acontecer em função das diferenças espectrais e temporais entre as duas imagens. Como aconteceu nos segmentos 5 e 4, como exemplo, da FIGURA 9b.

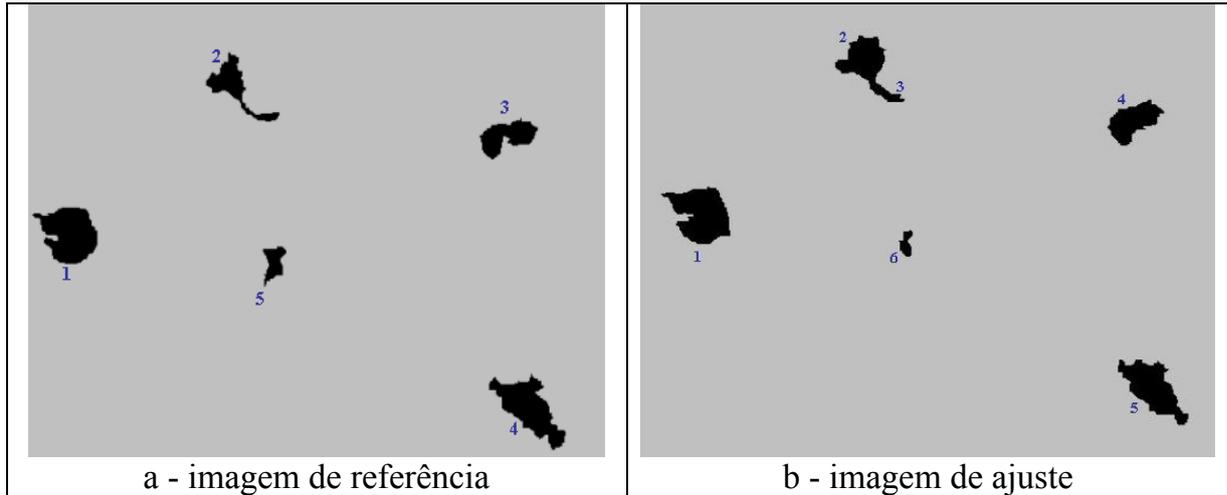


FIGURA 9 - ÁREAS DE VEGETAÇÃO EXTRAÍDAS DAS IMAGENS DE REFERÊNCIA E DE AJUSTE

Cada segmento pode ser descrito em termos espaciais e espectrais, considerando-se os parâmetros espaciais, um segmento pode ser descrito em termos de seu tamanho, orientação, forma, posição e compacidade. Usando parâmetros como o número de *pixels* que o compõem, área, a orientação de seus eixos principais, o coeficiente de compacidade, seu centróide, e o perímetro. A relação entre os segmentos pode ser representada, utilizando-se uma malha relacional, por exemplo, representando os segmentos como nós de uma malha, a distância entre os segmentos descreve a posição relativa deles, independentemente de uma eventual rotação entre as imagens. Quando as imagens possuírem resoluções espaciais diferentes, são feitas duas malhas, uma com os segmentos na resolução espacial original da imagem de ajuste, e outra com os segmentos da imagem de ajuste reamostrada para a resolução espacial da imagem de referência. As duas malhas são feitas para verificar se é possível obter a correspondência dos segmentos quando a imagem de ajuste possui resolução espacial diferente da imagem de referência. Uma vez que os segmentos possuem variação no tamanho (área), variando a área, ocorre deslocamento do centróide, assim diminuindo ou aumentando as distâncias entre os segmentos. E quando se tem imagens ajuste possuem resoluções iguais à imagem de referência espera-se que ocorram pequenas variações no tamanho dos segmentos tendo assim pouco deslocamento do centróide, então, as distâncias dos segmentos nas imagens de ajuste são mais parecidas com as distâncias dos segmentos na imagem de referência.

Como já mencionado a relação não é biunívoca, pois os segmentos não são idênticos e a quantidade também pode ser diferente. Numa situação ideal, as redes seriam similares, equivalentes. Para que as redes sejam similares e equivalentes duas medidas devem ser tomadas, a primeira é combinar segmentos próximos para formar uma única falsa região, mesmo que não seja conexa, mas que corresponde à respectiva região original. A segunda é verificar se as áreas ou tamanho dos segmentos nas duas imagens são equivalentes. Com estas condições de contorno, diferentes arranjos de rede podem ser avaliados para encontrar a rede que mais se aproxime da ideal. Portanto o problema é encontrar a rede e uma solução.

Uma solução para este problema é proposta com base nos processos de busca estocástica dos Algoritmos Genéticos, descritos a seguir.

Gerou-se uma malha relacional entre os segmentos, utilizando a distância euclidiana, o cálculo foi realizado a partir dos centróides, de modo que esses ficassem presos na malha, evitando uma possível rotação, conforme mostra o exemplo ilustrativo da FIGURA 10. Neste exemplo, a FIGURA 10a representa a imagem CBERS II de janeiro, e a FIGURA 10b a imagem ASTER de maio.

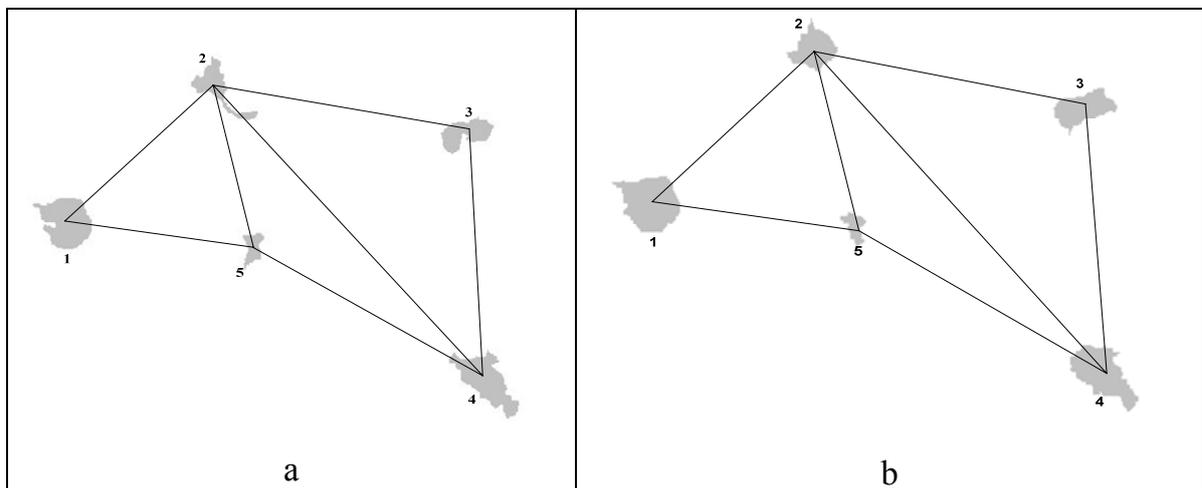


FIGURA 10 – MODELOS RELACIONAIS (A) DA IMAGEM DE REFERÊNCIA; (B) DA IMAGEM A SER ANALISADA

Os centróides dos segmentos que são áreas de vegetação densa são utilizados primeiramente para calcular as distâncias entre os mesmos, formar a malha relacional e posteriormente para fazer a correção geométrica de imagem para imagem. As FIGURAS 10a e 10b apresentam as áreas das quais foram obtidos os centróides. A

FIGURA 10a apresenta a imagem de janeiro de 2006, CBERS II, e a FIGURA 10b, ASTER, apresenta uma imagem de ajuste.

Definido como será o cálculo da rede ou malha relacional, o próximo passo é utilizar os Algoritmos Genéticos para encontrar a correspondência entre as malhas.

3.6.4 Análise de Correspondência com Algoritmos Genéticos

Para a solução do problema de correspondência entre segmentos, são utilizados os Algoritmos Genéticos Simples propostos por GOLDBERG (1989). Os passos necessários para seu funcionamento são descritos a seguir.

- a) codificação dos indivíduos;
- b) definição da população;
- c) operadores genéticos utilizados;
- d) descrição da função de aptidão (*fitness*).

A seguir, apresenta-se o detalhamento de cada um dos passos.

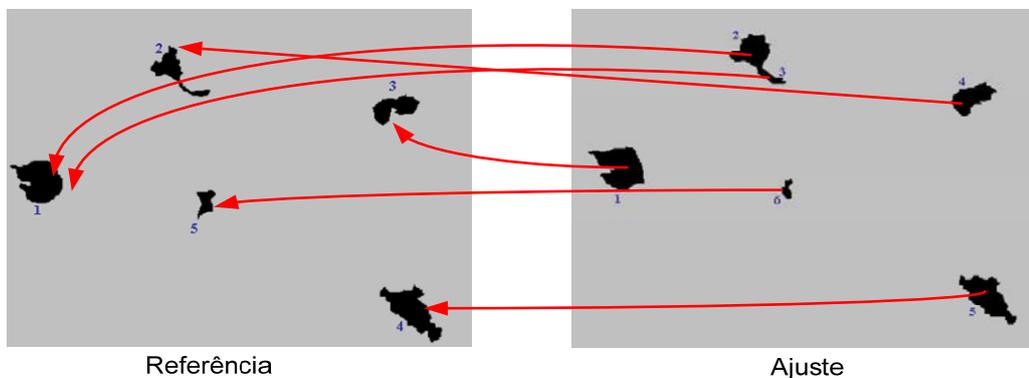
a) Codificação dos indivíduos

Neste trabalho foi utilizada a codificação binária. Esta representação é muito utilizada em Algoritmos Genéticos (Mitchell, 1997) devido à sua simplicidade e tradição.

Considerando o conjunto de segmentos obtidos após a segmentação e classificação da imagem a ser referenciada, mostrada na FIGURA 10b, existe um número finito de segmentos (QS) que pode, porém, ser diferente do conjunto de segmentos (QR) presentes na imagem de referência, devido a subdivisão dos mesmos no processo de segmentação. O problema a ser resolvido é associar cada um destes segmentos com um segmento da imagem de referência. Assim sendo, a solução pode ser representada como um vetor com dimensão QS, onde cada elemento do vetor armazena o número do segmento, ou seja, o identificador, associado na imagem de referência de forma seqüencial. Uma cadeia de “n” elementos binários é usada para representar o total de QS segmentos. O tamanho da cadeia é, neste caso, dependente da

representação dos números inteiros, identificadores dos segmentos, como uma série binária.

A FIGURA 11 mostra um exemplo de uma provável solução para o problema. Neste exemplo ilustrativo, o vetor de solução (codificação) tem seis elementos, e cada um deles armazena o identificador do segmento associado na imagem de referência. Para o exemplo apresentado na FIGURA 11, o vetor solução é $vs' = [3 \ 1 \ 1 \ 2 \ 4 \]$. O tamanho do vetor depende do resultado da segmentação, pois os segmentos podem ser subdivididos ou não.



REFERÊNCIA AJUSTE
FIGURA 11 – POSSÍVEL ASSOCIAÇÃO ENTRE A IMAGEM DE REFERÊNCIA E A IMAGEM AJUSTE

b) Definição da população

Após a codificação binária, a população é definida como um grupo desses indivíduos. A população inicial é criada de forma aleatória. Para cada gene no indivíduo escolhe-se aleatoriamente o número 1 (um) ou 0 (zero) até preencher todos os indivíduos da população. O tamanho do indivíduo é definido pelo número de segmentos vezes bits. O tamanho da população é definido pelo usuário e é, neste caso, determinado por meio de experimentos. Iniciando com o tamanho de 40 de indivíduos e aumentando de 20 em 20 indivíduos. O cálculo da população inicial é realizado como mostra a FIGURA 12.

```

%calcula da populacao inicial
for i=1:tam_ind %nessa posicao em tam deve constar o valor do tamanho do individuo
  for j=1:tam_pop %nessa posicao em tam deve constar o valor do tamanho da populacao
    aleat=round(rand);
    pop(i,j)=aleat; % gera valores 0 ou 1
  end
end
end

```

FIGURA 12 – CÁLCULO DA POPULAÇÃO INICIAL

c) Operadores genéticos

Os Operadores Genéticos, mutação e cruzamento, têm por função, segundo Goldberg (1989), reger a evolução da espécie.

No cruzamento, duas ou mais cadeias genéticas selecionadas trocam material genético entre si gerando novas cadeias híbridas. No método de cruzamento mais simples, conhecido como método de cruzamento de um ponto (*One point crossover*), um ponto da série binária é escolhido aleatoriamente para dividir as cadeias genéticas dos pais. Dois filhos podem ser gerados intercambiando as séries resultantes, como é mostrado na FIGURA 13. O primeiro filho recebe a primeira parte da cadeia de um pai e a segunda metade do outro. O outro filho é formado com as outras partes restantes.

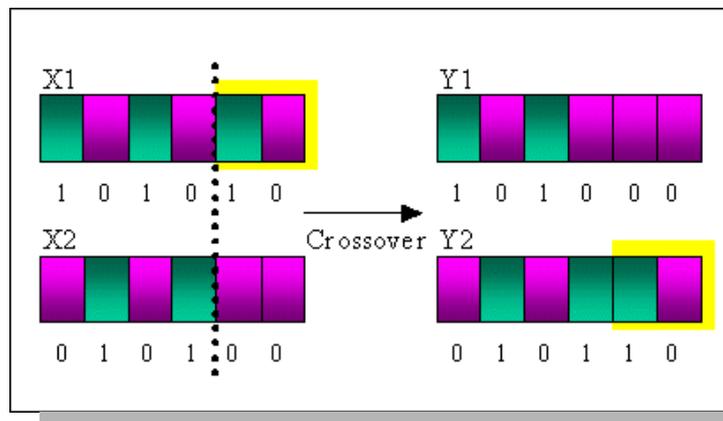


FIGURA 13 – CRUZAMENTO
 FONTE: LIAO e SUN (2001)

A mutação atua alterando o código genético, ou seja, um ou mais genes são modificados no cromossomo pai gerando um filho mutante, conforme pode ser observado na FIGURA 14.

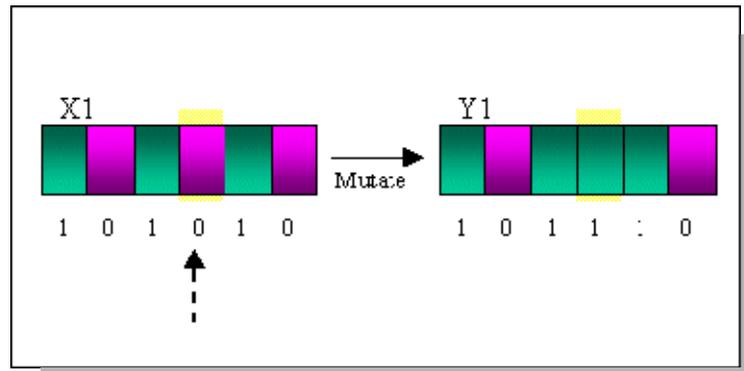


FIGURA 14 – MUTAÇÃO
 FONTE: LIAO e SUN (2001)

A finalidade da seleção nos algoritmos genéticos é escolher os elementos da população que devem se reproduzir. Esta escolha deve ser feita de tal forma que dê maior chance de reprodução aos membros da população mais adaptados ao meio, isto é, àqueles que apresentam um valor da função *fitness* mais elevado.

São utilizados, neste trabalho, os operadores propostos por Goldberg (1989), ou seja, os operadores de seleção, mutação e cruzamento (crossover). É avaliado o método de seleção elitismo, neste caso, foram retidos os melhores elementos da população numa proporção de 1 para cada 25 indivíduos. O método de cruzamento simples e a mutação aleatória são usados no processo iterativo, sendo a taxa de cruzamento utilizada de 0,7 e a taxa de mutação de 0,05, propostos por (GOLDBERG, 1989).

A população do melhor indivíduo para a correspondência das imagens da FIGURA 10, foi uma população de tamanho 100, com tamanho de indivíduos 15, pois tem-se 5 segmentos e 3 bits, esta população pode ser observado na FIGURA 15. Para essa solução o algoritmo gerou 1198 mutações e 16792 cruzamentos, todos aleatoriamente.

1	1	1	1	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1
.
.
12	1	1	1	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1
14	0	0	0	0	.	.	.	0	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	.	.	.	1	1	1	1	1	1
tam_ind/tam_pop	1	2	3	4	5	.	.	95	96	97	98	99	100

FIGURA 15 – POPULAÇÃO DO MELHOR INDIVÍDUO

d) Função de aptidão

A operação de reprodução depende fielmente da função de aptidão que guia o processo na direção do objetivo desejado. Quanto maior o valor de aptidão de um indivíduo, maior será a adequação desta série de números para a solução do problema. A função de aptidão assume um papel determinante na seleção de indivíduos para a solução do problema, caso a solução não é encontrada a função de aptidão seleciona novos indivíduos para compor a população, os quais vão passar pelo processo de reprodução.

Para o objetivo do processo de análise de correspondência entre segmentos, a identificação dos segmentos homólogos, então, a função de aptidão deve refletir dois aspectos: a similaridade entre os segmentos homólogos, FS, e a similaridade entre a distribuição espacial dos segmentos, FE.

Assim sendo, a função de aptidão (FA) é composta pela soma ponderada de dois fatores, conforme equação 14.

$$FA(x) = a * FS + (1 - a) * FE \quad (14)$$

Onde:

a é o fator ponderador;

FS é o fator que mede a similaridade entre os segmentos; e

FE é o fator que descreve a similaridade da distribuição espacial dos segmentos.

Para o cálculo de FS, foi utilizada a comparação do tamanho dos segmentos nas duas imagens. Considerando o tamanho do segmento (S), um valor para o fator FS é obtido a partir da diferença de tamanho média, de acordo com a equação 15:

$$DMS = \left| \frac{S_{Ri} - S_{Ai}}{\sum_{k=1}^n S_{Ri}} \right| \quad (15)$$

Onde:

S_{Ri} é a área do segmento “i” na imagem de referência;

S_{Ai} a área do segmento “i” na imagem ajuste; e

n é o número total de segmentos

O valor ideal da diferença de tamanho dos segmentos é zero. Valores até 0,5 podem ser considerados também adequados. Analisando a equação 16 percebe-se que à medida que a diferença cresce, o valor deste fator deve diminuir, reduzindo a aptidão do indivíduo. Assim sendo, uma função decrescente é usada para normalizar o valor de aptidão, como mostra a FIGURA 16 e a equação 16.

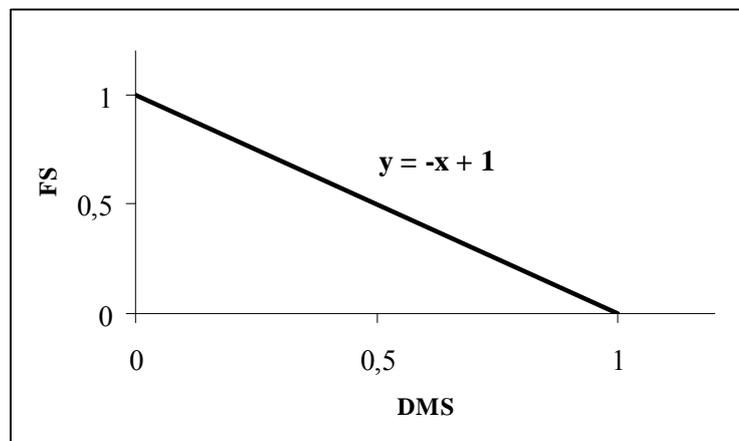


FIGURA 16 – OBTENÇÃO DE FS POR NORMALIZAÇÃO DE DMS

$$FS = 1 - DMS \quad (16)$$

De maneira similar, o fator FE é calculado comparando as distâncias que separam os centróides dos diferentes segmentos em cada imagem. Para isso, uma matriz de distâncias entre segmentos é calculada previamente para a imagem de referência. Para cada solução, uma nova matriz é calculada e comparada com a matriz de referência. A comparação pode ser feita pela diferença destas duas matrizes. A diferença de distância é ponderada pela distância na imagem de referência.

A distância entre dois segmentos na imagem de referência é obtida utilizando a equação 17:

$$Dr^2(i, j) = (x_{Ri} - x_{Rj})^2 + (y_{Ri} - y_{Rj})^2 \quad (17)$$

Onde:

(x_{Ri}, y_{Rj}) representam as coordenadas do centróide do segmento “i” na imagem de referência.

De forma análoga, a distância na imagem ajuste é obtida pela equação 18:

$$Da^2(i, j) = (x_{Ai} - x_{Aj})^2 + (y_{Ai} - y_{Aj})^2 \quad (18)$$

Onde:

(x_{Ai}, y_{Ai}) representam as coordenadas do centróide do segmento “i” na imagem de ajuste;

(x_{Aj}, y_{Aj}) representam as coordenadas do centróide do segmento “j” na imagem de ajuste.

O valor médio da diferença normalizada entre as distâncias é calculado pela equação 19:

$$DME = \left| \frac{Dr(i, j) - Da(i, j)}{\sum_{k=1}^n Dr(i, j)} \right| \quad (19)$$

Onde:

DME é o valor médio da diferença de distância normalizada entre os segmentos “i” e “j”.

O valor ideal do DME é zero. Considerando também que a medida em que a diferença cresce, o valor do fator FE deve diminuir, uma função decrescente, similar à apresentada na FIGURA 16, é usada para normalizar o valor do DME. O valor é, então, calculado a partir da equação 20.

$$FE = 1 - DME \quad (20)$$

3.7 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM DE AJUSTE

Após a identificação automática de segmentos homólogos, o seguinte passo é a correção geométrica da imagem dentro da região ocupada pela imagem de referência. Para isto, a primeira opção a ser considerada é o uso dos centróides dos segmentos utilizados na análise de correspondência. O uso de centróides é uma variação da correção geométrica por pontos. A diferença consiste no fato de que, em lugar de pontos obtidos em cruzamentos ou pontos notáveis, os pontos correspondem aos centróides de regiões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tópicos seguintes apresentam a aplicação da proposta metodológica sugerida. A seqüência e os métodos de processamento de imagens foram: segmentação, classificação, seleção dos segmentos para composição da malha relacional e correção geométrica das imagens de ajuste.

4.1 SEGMENTAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS OBJETOS DA IMAGEM DE REFERÊNCIA

Para a geração dos segmentos da imagem de referência, imagem CBERS II de janeiro de 2006 realizou-se uma série de tentativas. Nas quais se testou um conjunto de parâmetros: fator de escala, fator cor, fator de forma, valor de compacidade e valor de suavidade. Foi selecionado o conjunto de parâmetros que melhor determinou os limites dos objetos estudados (áreas de vegetação) analisando visualmente. O fator de escala igual a 30 foi o que melhor discriminou as áreas densas de vegetação em relação às áreas cultivadas. Os outros fatores de escala testados confundiram áreas de vegetação com áreas de cultivo, sendo descartados, pois para o desenvolvimento deste trabalho é necessária a identificação dos segmentos de vegetação densa presentes na imagem para a realização do *matching* com as diferentes imagens de ajuste.

Testou-se também diferentes valores para os fatores forma, cor, compacidade e suavidade, e os melhores resultados foram obtidos com os valores de 0,3; 0,7; 0,1 e 0,9 respectivamente. A imagem de referência foi segmentada usando esses parâmetros. O resultado final do processo de segmentação realizado no programa *eCognition*, pode ser observado na FIGURA 17. As demais cores que não são apresentadas na legenda desta figura referem-se a outras feições, tais como, áreas cultivadas e solo exposto.

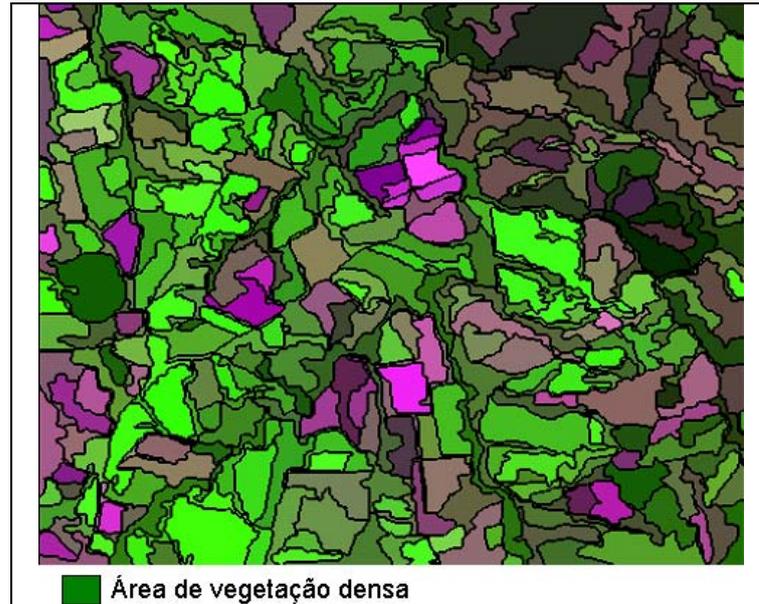


FIGURA 17 – IMAGEM DE REFERÊNCIA CBERS II DE JANEIRO DE 2006 SEGMENTADA

A FIGURA 18 mostra a imagem de referência classificada pelo algoritmo FNEA, utilizando a classe hierárquica do *software eCognition*. As duas classes, campos cultivados e áreas de vegetação foram definidas para a realização dessa classificação. A função para a classe de vegetação foi calculada a partir do descritor média da banda que corresponde ao comprimento de onda de 0,63 a 0,69 μm e para campos cultivados a função foi o inverso da similaridade da classe de áreas de vegetação.

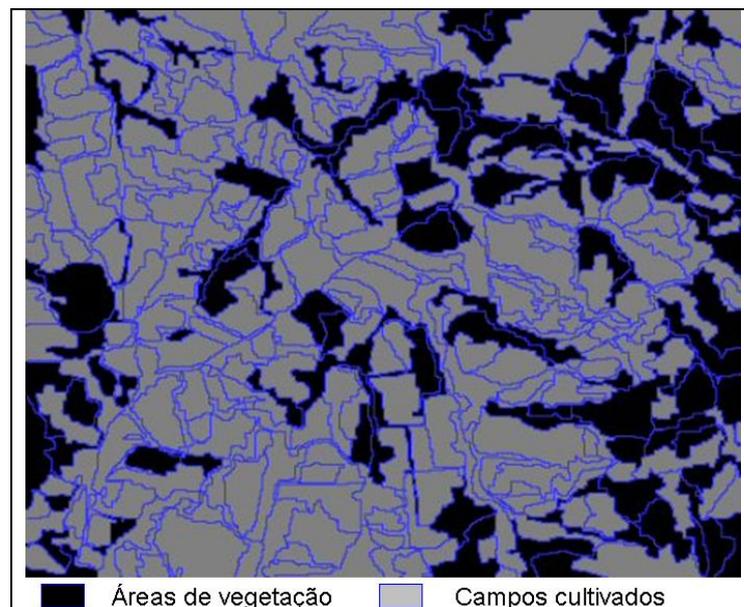


FIGURA 18 – ÁREAS DE VEGETAÇÃO

A partir da imagem classificada automaticamente, fez-se a seleção manual dos segmentos de interesse, utilizando a opção classificação manual do objeto no eCognition.

As FIGURAS 19a, 19b, 19c e 19d apresentam resultados dos processos realizados na imagem de referência para obtenção dos segmentos de vegetação, os quais compuseram a malha relacional usada na execução do *matching*. A imagem original é mostrada na figura 19a que foi utilizada para a extração dos segmentos. Essa imagem possui dimensões de 500 colunas por 400 linhas; a FIGURA 19b mostra a imagem segmentada; a FIGURA 19c a imagem classificada e a FIGURA 19d apresenta os segmentos que foram utilizados para a geração da malha relacional. Ainda, nesta figura, observa-se que o segmento 4 foi subdividido em dois segmentos, no processo de segmentação. Para que simplicidade matemática do cálculo da função *fitness* não fosse alterada, era preciso trabalhar com segmentos únicos na imagem de referência. Então, foi necessário unir os segmentos 4 e 41, sendo assim, um novo centróide e uma nova área foram calculados, segundo a equação 21 e 22.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (21)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$A_T = \sum_{i=1}^n A_i \quad (22)$$

Onde:

X e Y são os novos centróides calculados para o segmento “i”;

A é a área do segmento “i”; e

A_T é a área total do segmento.

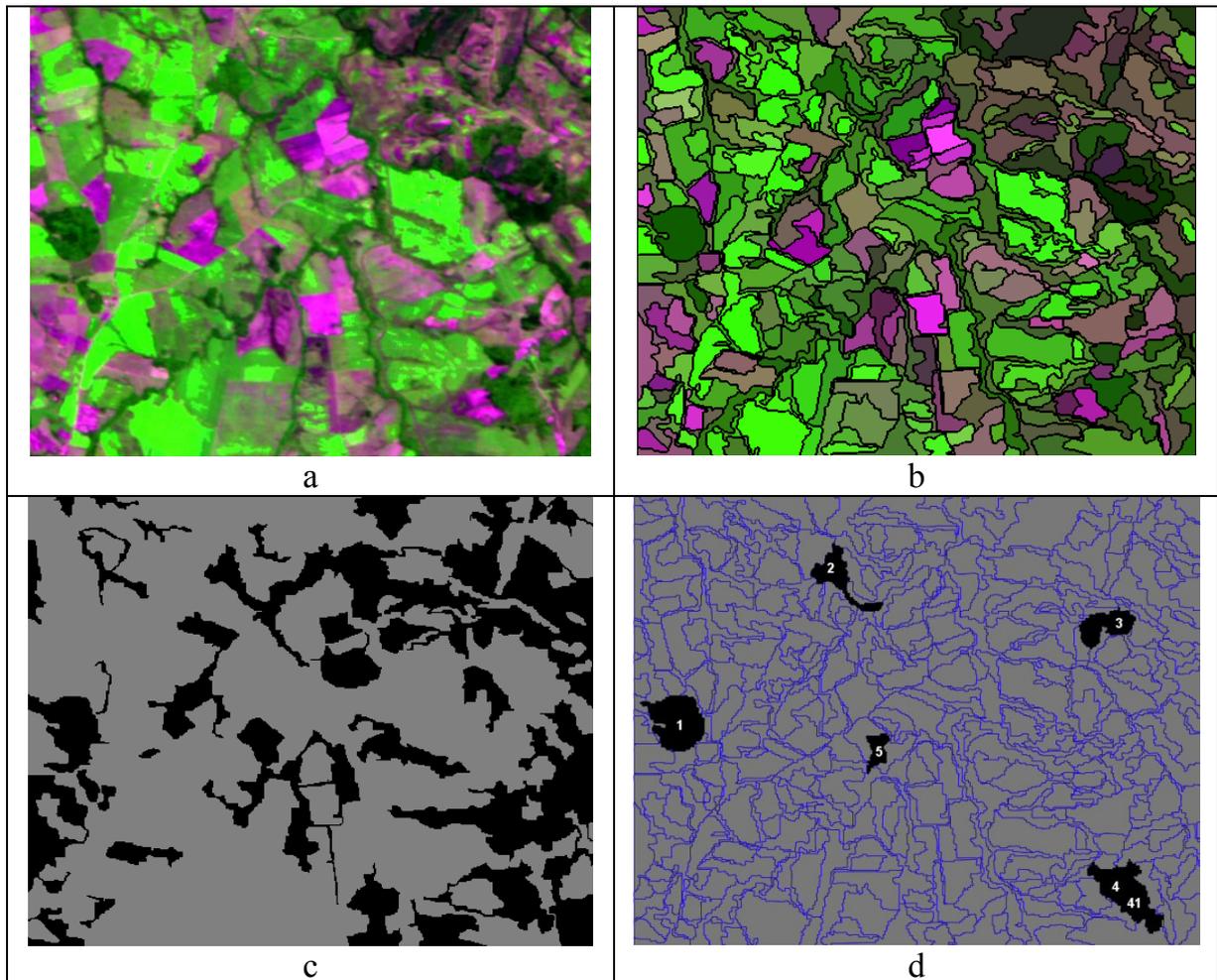


FIGURA 19 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM DE REFERÊNCIA

Para cada projeto criado, o programa *eCognition* denomina cada imagem a ser processada de projeto, tanto para a imagem de referência como para as imagens de ajuste, teve como unidade de medida, o *pixel*, sendo assim, o resultado de área e centróide dos segmentos são calculados em *pixel*.

A seguir serão apresentados os resultados da segmentação, da classificação e da seleção dos segmentos de vegetação para as imagens de ajuste.

Para a maioria das imagens de ajuste foi necessário modificar o parâmetro de escala utilizado no processo de segmentação, em relação ao parâmetro de escala utilizado na imagem de referência. Todavia, os outros parâmetros, tais como, valores de suavidade e compacidade, e os fatores forma e cor, permaneceram os mesmos.

4.2 PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NAS IMAGENS DE AJUSTE

As imagens de ajuste utilizadas neste trabalho foram as do satélite CBERS II de janeiro (referência) e agosto de 2006 e novembro de 2004; com resolução de 20 metros, as do satélite LANDSAT 7 de julho de 2000 e dezembro de 2002, de resoluções 28,5 e 30 metros, e as do sensor ASTER de abril de 2006 e maio de 2003, com resolução de 15 metros. Buscou-se trabalhar com imagens de ajuste com mesma, maior e menor resolução espacial em relação à imagem de referência.

As imagens LANDSAT e ASTER possuem resolução espacial diferente da imagem de referência, que é uma imagem CBERS II de janeiro de 2006, então se fez a reamostragem dessas imagens para a resolução de 20 metros. A reamostragem foi realizada a partir dos aplicativos do programa ENVI 4.2. Adotou-se o método de reamostragem bilinear. Quando as imagens ASTER foram adquiridas as imagens LANDSAT e CBERS II já haviam sido processadas. A fazer a reamostragem bilinear nas imagens ASTER não foi possível. Pois quando aplicou a operação de reamostragem às imagens LANDSAT 2000 e 2002 obteve-se uma imagem com resolução espacial maior. Sendo necessário interpolar os valores digitais do *pixel* pelo método de interpolação bilinear. No caso das imagens ASTER 2003 e 2006, a imagem reamostrada possui a resolução espacial menor que da imagem original. Neste caso não é possível aplicar o método de reamostragem bilinear, por isso que foi usado método vizinho mais próximo.

4.2.1 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem CBERS de 2006

A imagem CBERS de 2006 da área de estudo está representada na FIGURA 20a. Esta imagem possui dimensões de 500x400 (coluna x linha). Foi utilizado o parâmetro de escala igual a 20 no processo de segmentação.

As FIGURAS 20b e 20c apresentam os resultados do processo da segmentação, e da classificação desta imagem, respectivamente. Já a FIGURA 20d

mostra os segmentos de vegetação selecionados manualmente, podendo também se observar nesta figura que o processo de segmentação subdividiu o segmento 1 em três partes.

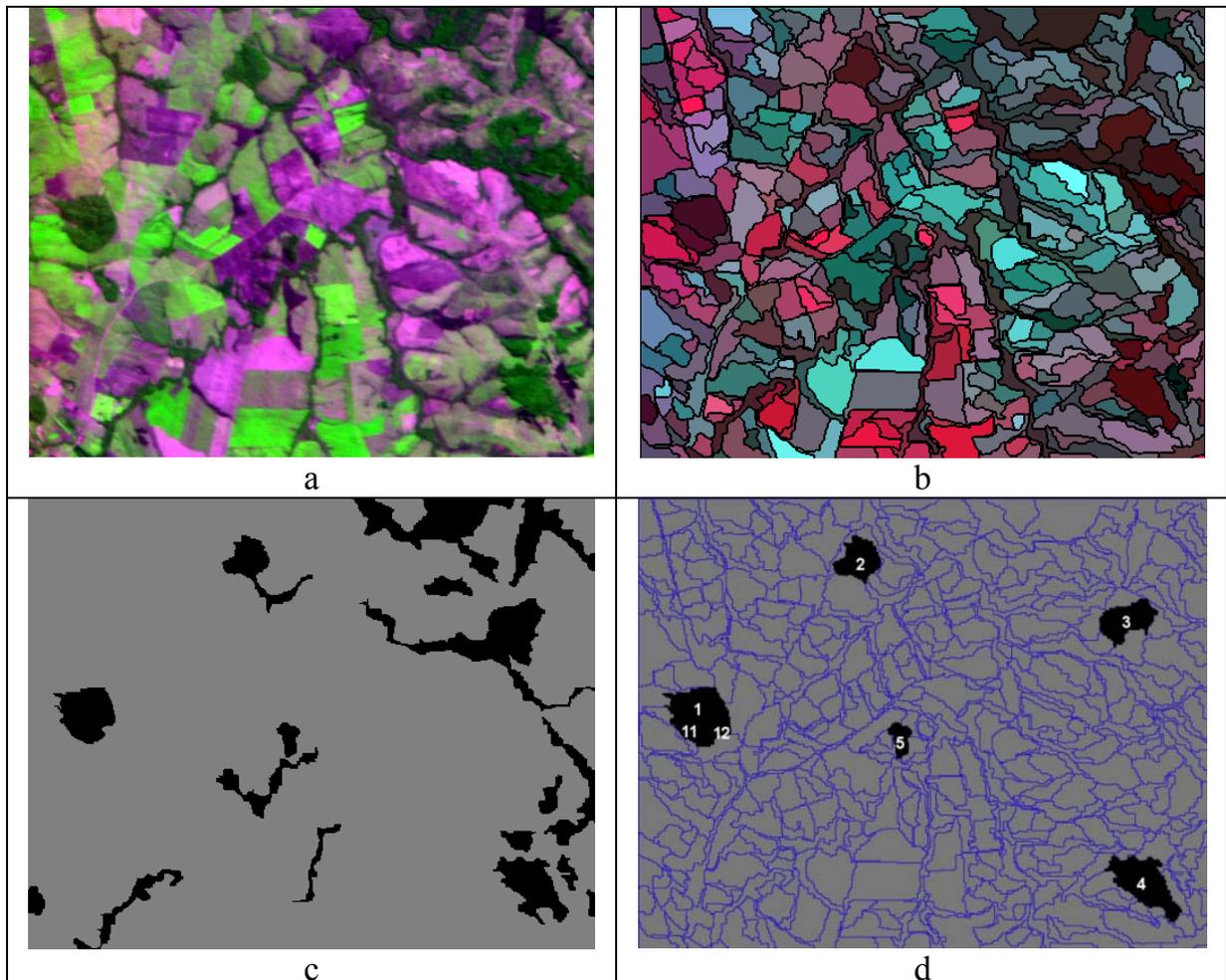


FIGURA 20 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM DE CBERS DE 2006

4.2.2 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem CBERS 2004

A imagem CBERS de 2004 está apresentada na FIGURA 21a, cujas dimensões são de 500x400 (coluna x linha). Para esta imagem mudou-se o parâmetro de escala de 30 para 20, no processo de segmentação. O resultado desse processo pode ser visto na FIGURA 21b. Já o resultado da classificação da imagem é mostrado na FIGURA 21c e os segmentos de vegetação selecionados, utilizados na obtenção da

malha, são apresentados na FIGURA 21d. Na FIGURA 21d, pode ser verificado que os segmentos 1, 2, 3 e 4 foram subdivididos em três partes, respectivamente.

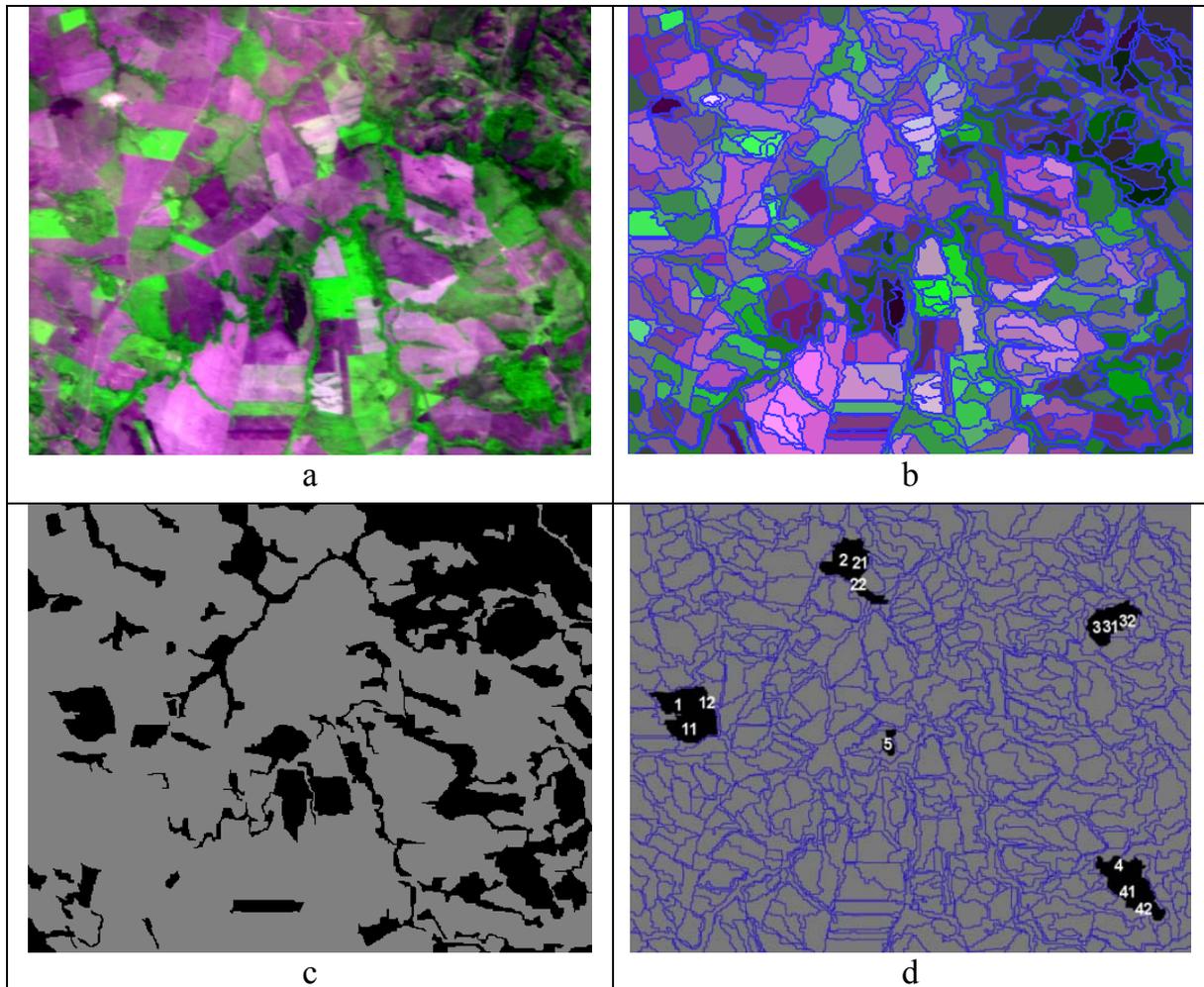


FIGURA 21 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM DE CBERS DE 2004

4.2.3 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2000

A imagem Landsat 2000 de resolução espacial de 28,5 metros pode ser observada na FIGURA 22a. Essa imagem possui dimensões de 500x400. O parâmetro de escala utilizado no processo de segmentação foi de 15. O resultado pode ser observado na FIGURA 22b. O resultado da classificação da imagem, e da seleção dos segmentos de vegetação são apresentados nas FIGURAS 22c e 22d, respectivamente. Na FIGURA 22d observa-se que o segmento 3 foi subdividido em duas partes.

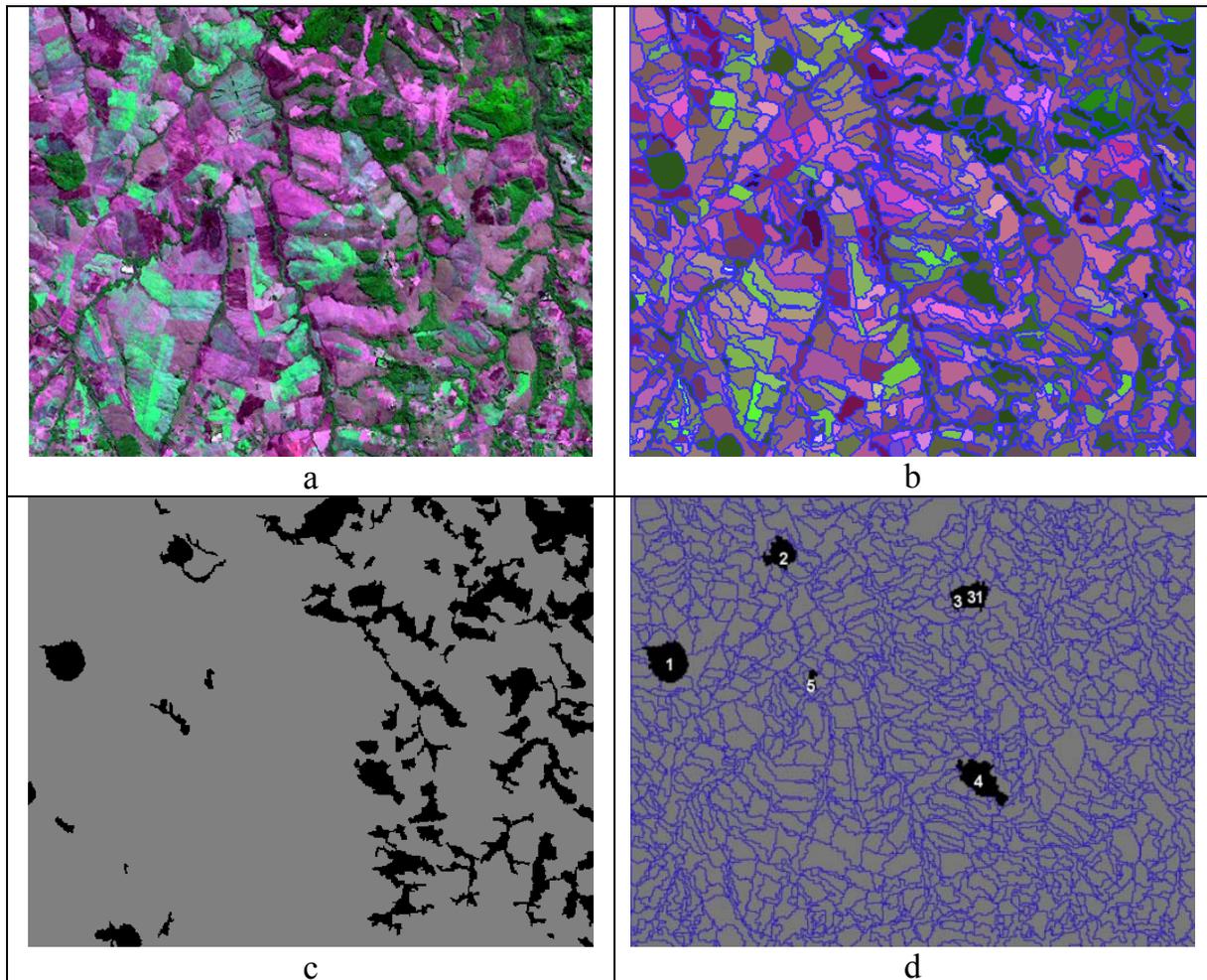


FIGURA 22 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2000

4.2.4 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2000 Reamostrada

A imagem Landsat de Julho de 2000 reamostrada possui dimensões de 500x400 e está representada na FIGURA 23a. Essa imagem foi processada com o parâmetro de escala igual 30. O resultado do processo de segmentação pode ser verificado na FIGURA 23b, e o da classificação da imagem, na FIGURA 23c. Na FIGURA 23d são apresentados os segmentos de vegetação selecionados. Nesta figura pode-se verificar que os segmentos 1 e 4 foram subdivididos em duas partes.

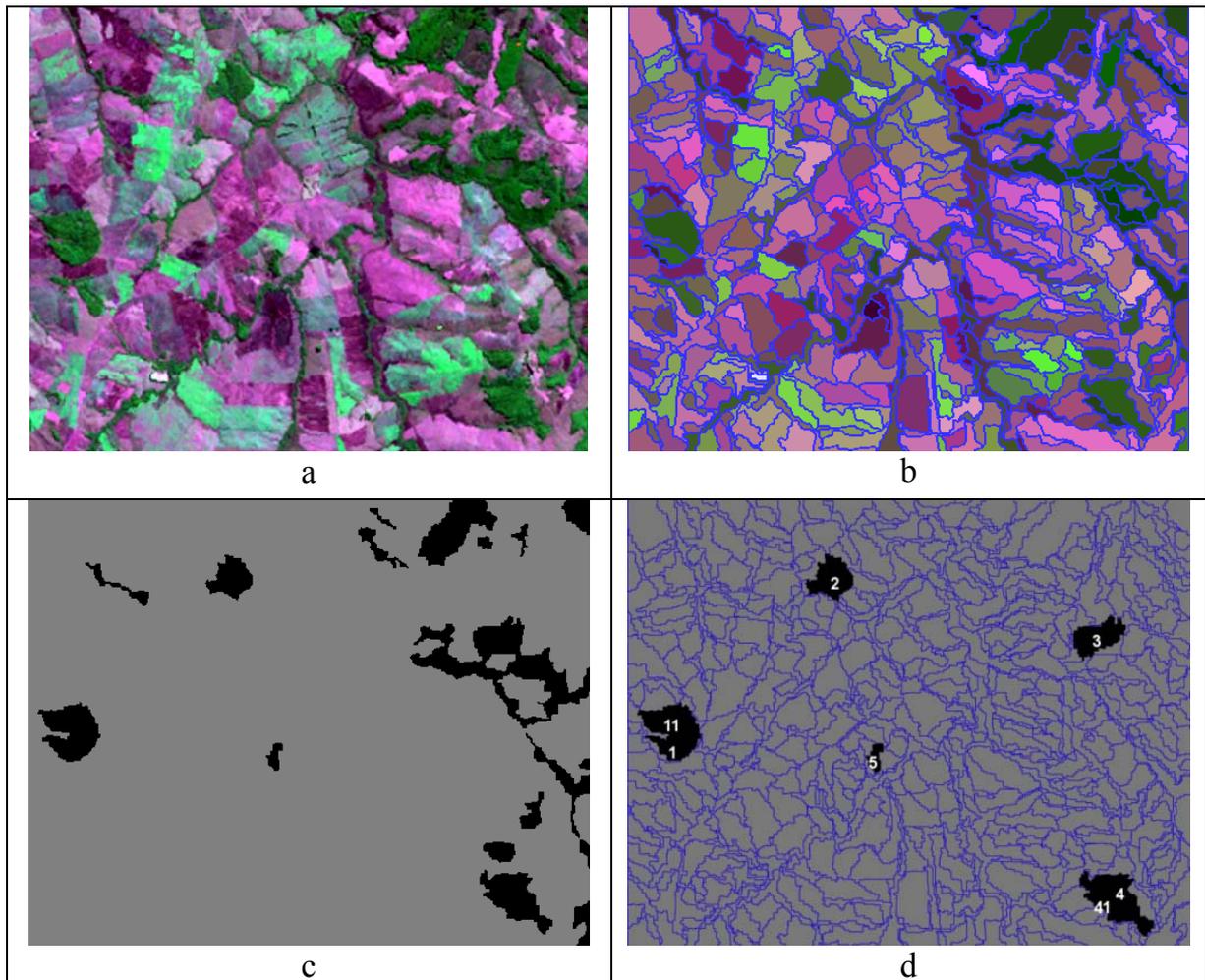


FIGURA 23 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2000 REAMOSTRADA

4.2.5 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2002

A FIGURA 24a apresenta a imagem Landsat de Dezembro de 2002 de resolução espacial de 30 metros, e com dimensões de 500x400. O processo final da segmentação pode ser observado na FIGURA 24b. O parâmetro de escala utilizado para a realização da segmentação foi 15. O resultado da classificação da imagem é apresentado na FIGURA 24c. Já na FIGURA 24d estão representados os segmentos de vegetação selecionados e que os segmentos 1 e 2 foram subdivididos em quatro e em duas partes, respectivamente.

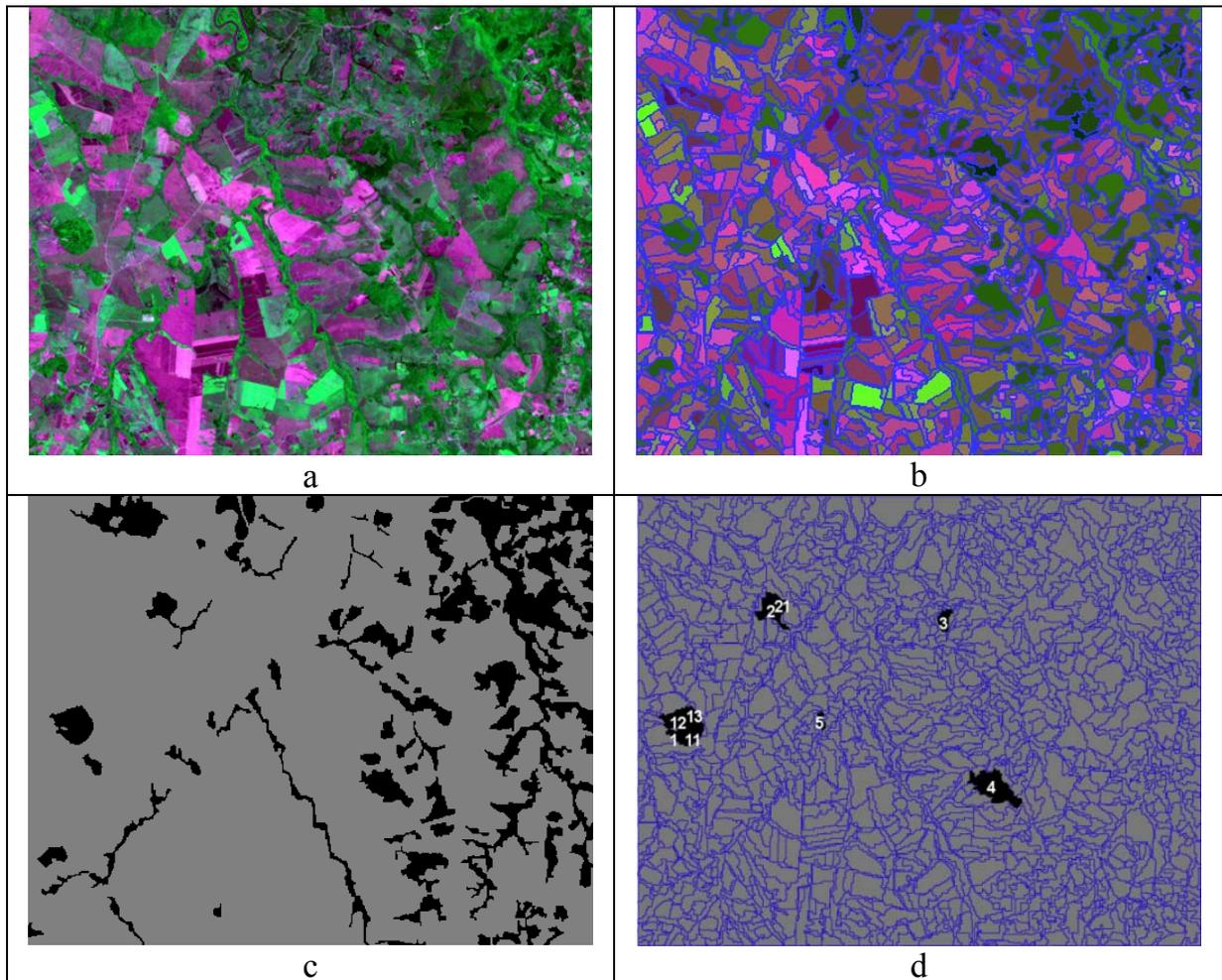


FIGURA 24 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2002

4.2.6 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem LANDSAT 2002 Reamostrada

A imagem Landsat de Dezembro de 2002 reamostrada pode ser observada na FIGURA 25a, segmentada com as dimensões de 500x400.

O parâmetro de escala utilizado no processo de segmentação foi 20, o resultado deste processo é verificado na FIGURA 25b. A FIGURA 25c apresenta o resultado da classificação da imagem, e já a FIGURA 25d mostra os segmentos escolhidos e que os segmentos 2 e 4 foram subdivididos em duas e em cinco partes.

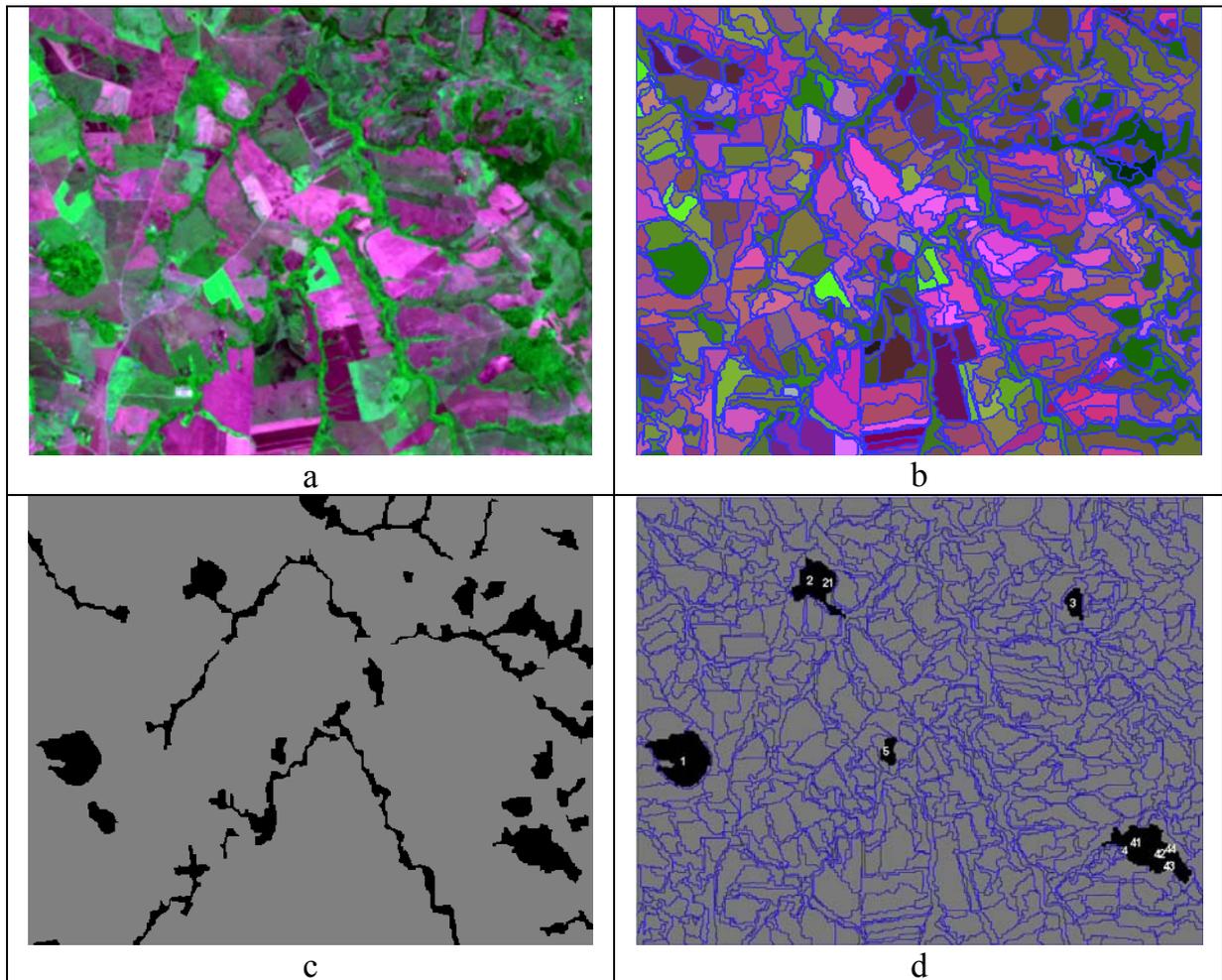


FIGURA 25 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM LANDSAT 2002 REAMOSTRADA

4.2.7 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2003

A FIGURA 26a mostra a imagem ASTER de Maio de 2003 de resolução espacial de 15 metros, e de dimensões de 700x500. Trabalhou-se com um recorte maior porque algumas áreas de vegetação de interesse ficavam fora da imagem quando se fazia um recorte de 500x400. Esta imagem foi segmentada com parâmetro de escala igual a 20 e o resultado do processo de segmentação pode ser verificado na FIGURA 26b. Os resultados da classificação da imagem e da seleção dos segmentos de vegetação podem ser observados nas FIGURAS 26c e 26d, respectivamente. Verifica-se na FIGURA 26b que os segmentos 1, 2 e 4 foram subdivididos, sendo o segmento 1 e 2 subdivididos em duas partes e o segmento 4 subdividido em três partes.

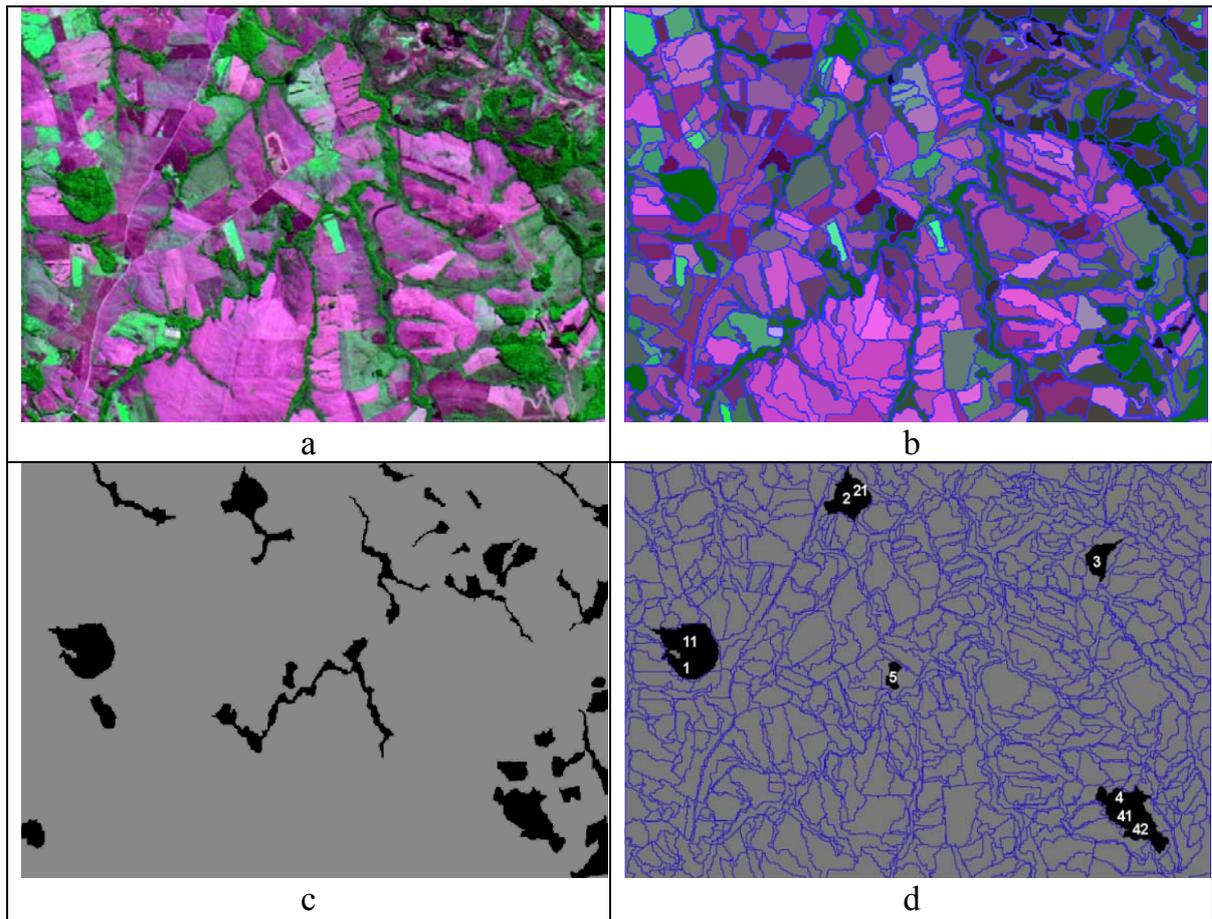


FIGURA 26 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2003

4.2.8 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2003 Reamostrada

A imagem ASTER de Maio de 2003 é apresentada na FIGURA 27a, com dimensões de 500x375.

O parâmetro de escala utilizado no processo de segmentação foi de 20, e o resultado desse processo pode ser visto na FIGURA 27b. Os resultados da classificação da imagem, e da seleção dos segmentos de vegetação podem ser verificado na FIGURA 27c e na FIGURA 27d, respectivamente. Ainda na FIGURA 27d nota-se que os segmentos 1 e 4 foram subdivididos, sendo o segmento 1 subdividido em duas e o segmento 4, subdividido em três partes.

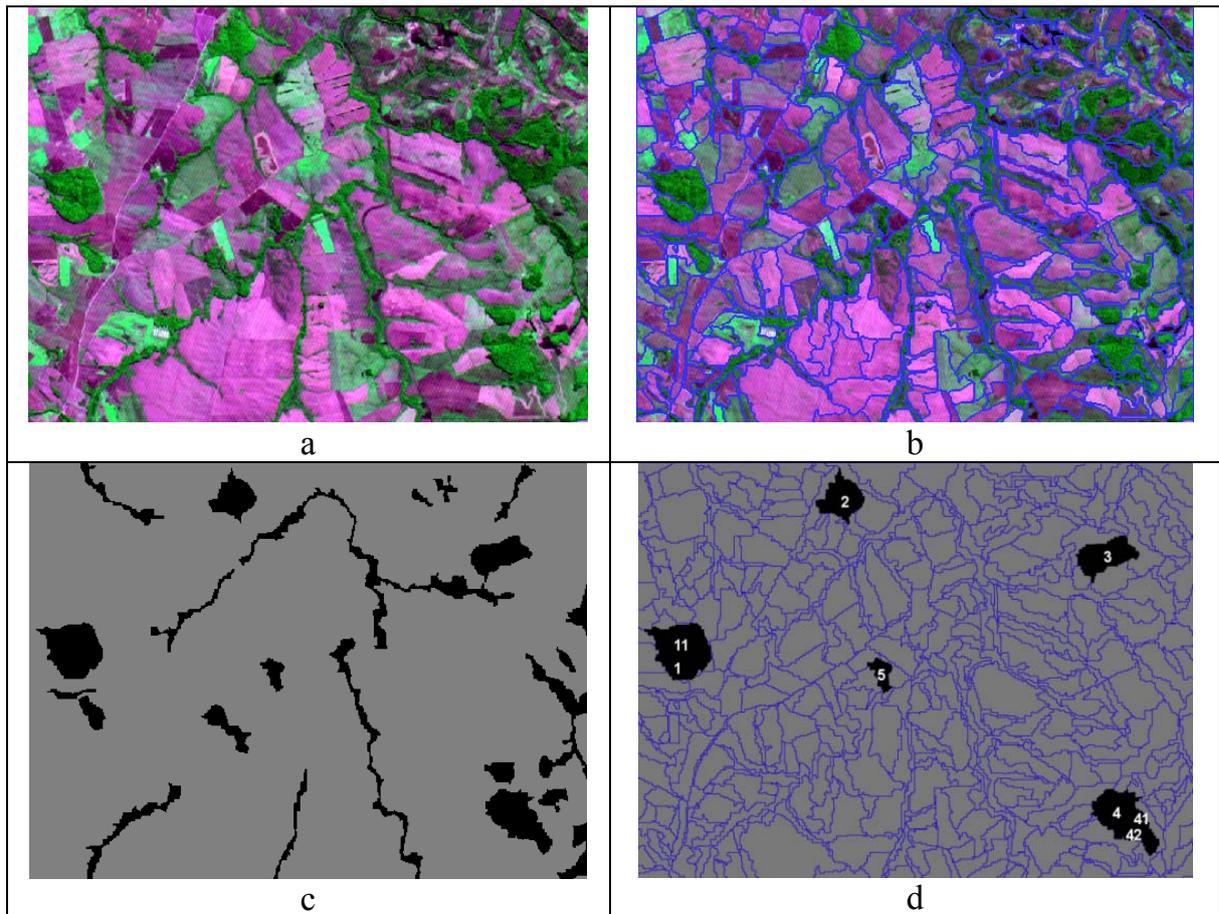


FIGURA 27 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2003 REAMOSTRADA

4.2.9 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2006

A imagem ASTER de Abril de 2006 de resolução espacial de 15 metros é mostrada na FIGURA 28a, com dimensões de 700x500, devido à imagem de dimensões 500x400 não englobar todos os segmentos de vegetação de interesse.

O parâmetro de escala utilizado no processo de segmentação foi de 25, e o resultado desse processo pode ser verificado na FIGURA 28b.

Na FIGURA 28c é apresentado o resultado da classificação da imagem. Na FIGURA 28d são mostrados os segmentos de vegetação e, também, a subdivisão dos segmentos 3 e 4, em duas e em três partes, respectivamente.

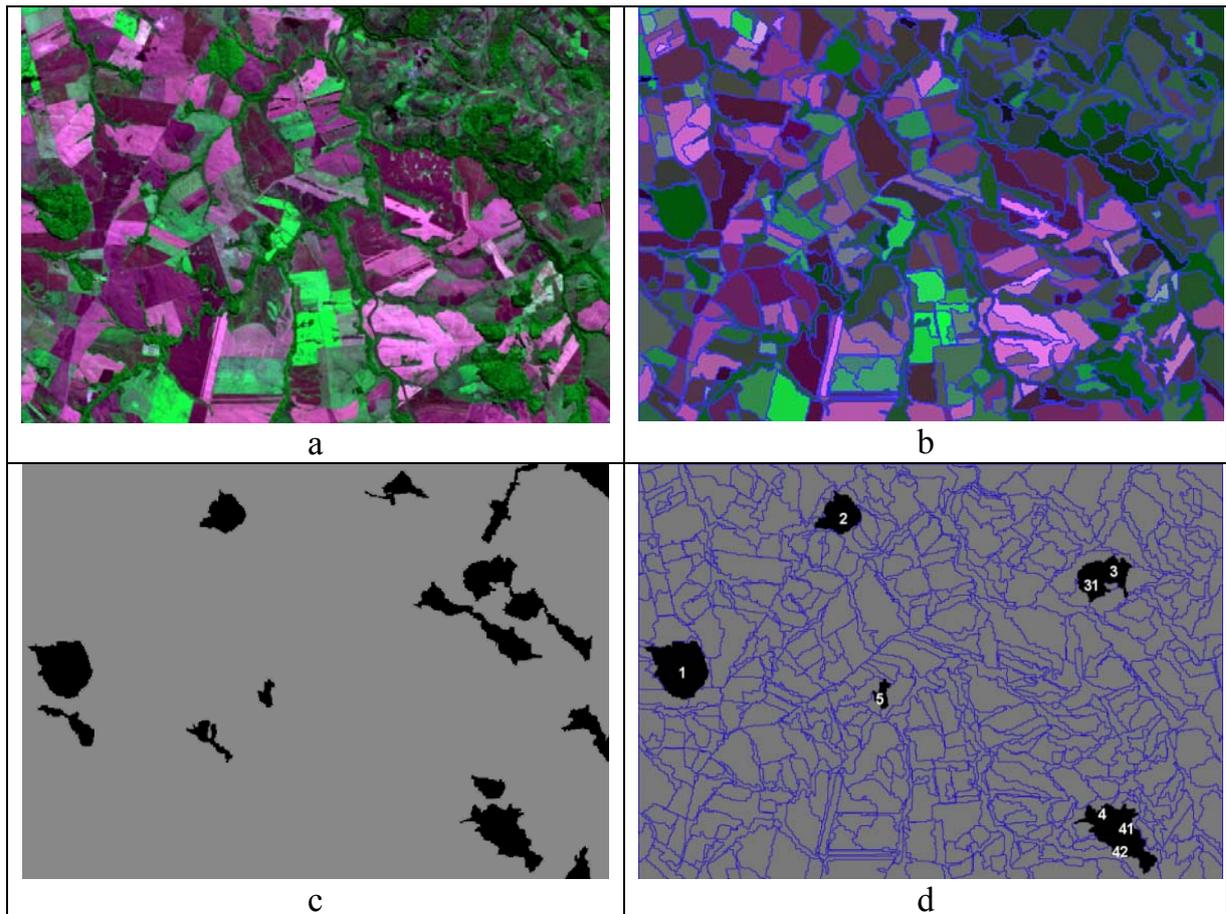


FIGURA 28 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2006

4.2.10 Processos para Obtenção dos Segmentos de Vegetação na Imagem ASTER 2006 Reamostrada

A FIGURA 29a mostra a imagem ASTER de Abril de 2006, reamostrada para a resolução espacial de 20 metros. Essa imagem possui dimensões de 500x375.

No processo de segmentação o parâmetro de escala utilizado foi 20, sendo o resultado desse processo apresentado na FIGURA 29b.

A FIGURA 29c mostra o resultado da classificação da imagem e já na FIGURA 29d são apresentados os segmentos de vegetação. Além disso, nela pode-se notar que os segmentos 3 e 4 foram subdivididos, sendo que o segmento 3 foi subdividido em duas e o segmento 4 em três partes.

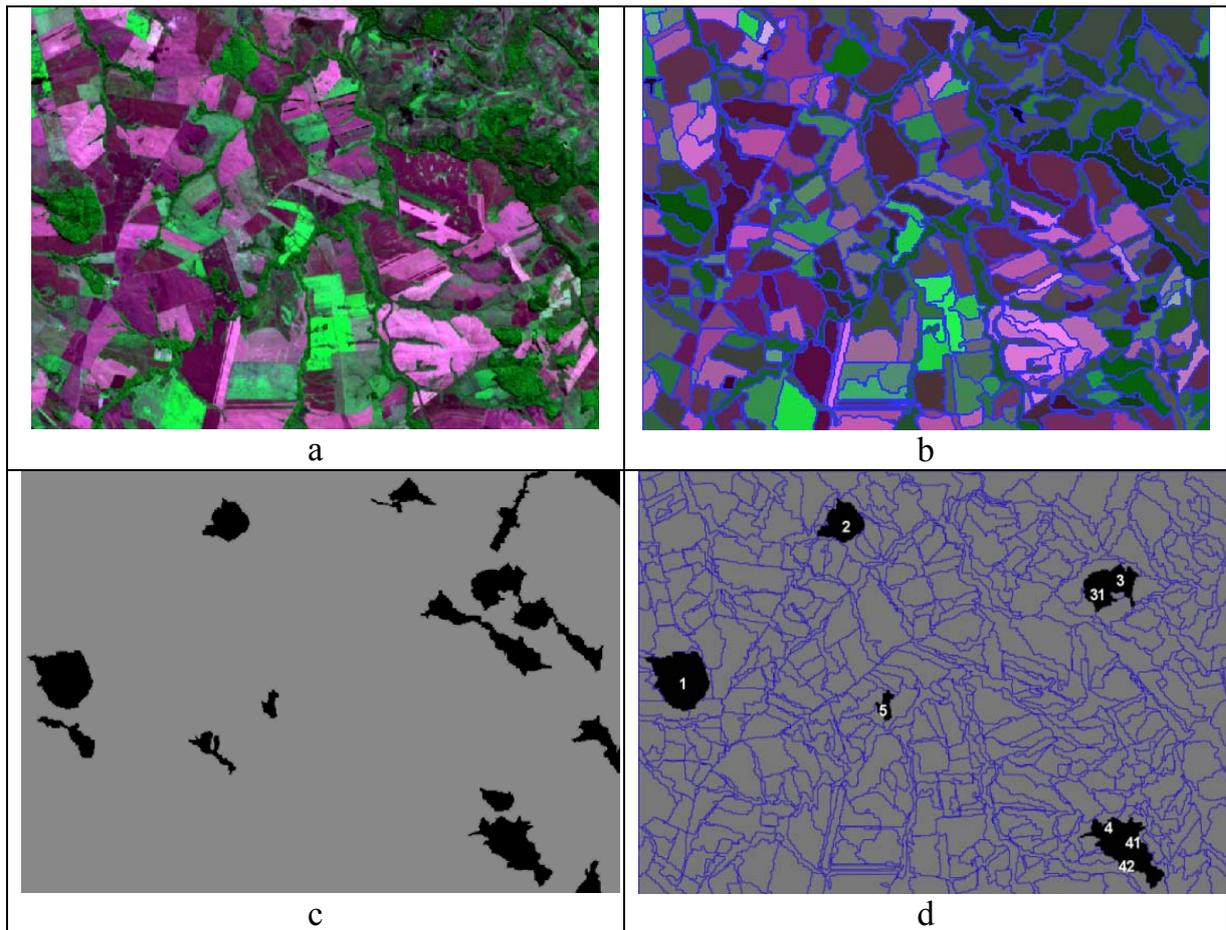


FIGURA 29 - PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM ASTER DE 2006 REAMOSTRADA

4.3 BUSCA DA MALHA RELACIONAL IDEAL

Uma vez que todas as imagens foram processadas, segmentadas, classificadas e selecionados os segmentos de vegetação para compor a malha relacional, o passo seguinte consistiu na busca da correspondência perfeita ou ideal da malha relacional das imagens de ajuste em relação à imagem de referência, utilizando os algoritmos genéticos.

O primeiro passo para a utilização dos algoritmos genéticos foi a codificação do indivíduo. Neste caso o indivíduo codificado foi o identificador de cada segmento da malha relacional. Sendo o tamanho deste definido pelo número de segmentos multiplicado pela quantidade de *bits*. O tamanho da população para a solução ideal da malha foi obtido por meio de experimentos.

Os operadores genéticos utilizados foram: o cruzamento e a mutação, sendo a escolha dos pontos de corte, aleatória. A técnica de seleção utilizada foi a elitismo.

A descrição da função *fitness* foi obtida em função de FS e FE. O FS é obtido pela equação 15 e o FE pela equação 19.

A função *fitness* foi calculada pela equação 13, a partir de FS e FE. O critério de parada do algoritmo utilizado para obter a solução ideal da malha foi o número de iterações e o valor máximo da função *fitness*.

Os dados de entrada para o algoritmo são os identificadores, os centróides e as áreas de cada segmento selecionado nas imagens. Os dados da imagem de referência são armazenados no conjunto 1 e o das imagens de ajuste no conjunto 2.

Definidos todos os passos dos algoritmos genéticos, no item 3.6.4, fez-se então, os experimentos. Primeiramente buscou-se a correspondência da malha relacional, a partir dos segmentos obtidos pelo processo de vetorização manual. Verificou-se também se era possível utilizar os centróides desses segmentos para calcular os parâmetros da transformação geométrica, para realizar a correção geométrica das imagens de ajuste. Posteriormente realizou-se os experimentos com os segmentos resultantes do processo de segmentação, e a verificação dos usos dos centróides dos segmentos para o cálculo dos parâmetros da transformação geométrica.

4.4 BUSCA DA CORRESPONDÊNCIA DA MALHA RELACIONAL A PARTIR DOS SEGMENTOS VETORIZADOS MANUALMENTE

Este experimento foi realizado para verificar se era possível obter a correspondência da malha relacional, uma vez encontrada a correspondência partiu-se para os experimentos com obtidos no processo de segmentação.

Para a realização da busca da correspondência da malha relacional fez-se a vetorização manual dos segmentos de vegetação para todas as imagens tanto de referência quanto de ajuste, utilizando-se ferramentas do programa ARCGIS, programa utilizado ainda para calcular áreas e centróides dos segmentos. A partir dos segmentos vetorizados buscou-se a correspondência para cinco e oito segmentos,

conforme descreve a série de experimentos a seguir. Os dados dos segmentos utilizados nestas séries de experimentos encontram-se no Apêndice 3.

4.4.1 Experimentos Realizados Usando Cinco Segmentos Vetorizados

Nesta série de experimentos com a utilização dos algoritmos genéticos buscou-se encontrar a correspondência da malha relacional para cinco segmentos de vegetação vetorizados manualmente, para as imagens de ajuste CBERS II, LANDSAT e ASTER, sendo a imagem de referência CBERS II de janeiro de 2006.

Os parâmetros utilizados nos algoritmos genéticos com o intuito achar a correspondência da malha, foram: a iteração máxima e o tamanho de população, que são mostrados na TABELA 5, ainda nesta tabela pode ser observar que a iteração máxima é fixa e o tamanho da população varia de 20 em 20 indivíduos.

TABELA 5 – MÁXIMA ITERAÇÃO E TAMANHO DE POPULAÇÃO

MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO				
500	60	80	100	120	140

A busca pela malha relacional foi realizada em todas as imagens de ajuste. Foram realizados cinco testes para a máxima iteração e tamanho de população diferente, sendo assim, por exemplo, para o tamanho de população 60 foram realizados cinco testes, o mesmo se repeti para os demais, tamanho de população.

O fator “a” ponderador de FS e FE da função de aptidão, apresentada na equação 13, foi 0,5, determinado empiricamente. A solução ideal da malha para esta série de experimentos é a seqüência: [1 2 3 4 5].

De acordo com os resultados obtidos, para essa série de experimentos foi possível encontrar a solução ótima para todas de imagens de ajuste. Conforme mostra a TABELA 6.

Na TABELA 6 são apresentados, o fator “a”, a máxima iteração, o tamanho de população, o valor máximo da função *fitness* e a iteração, da solução ótima da correspondência da malha relacional.

TABELA 6 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA RELACIONAL COM CINCO SEGMENTOS VETORIZADOS MANUALMENTE

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO <i>FITNESS</i>	ITERAÇÃO
CBERS 2006	0,5	500	60	0,95	1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a e 5 ^a
CBERS 2004	0,5	500	60	0,94	1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a e 5 ^a
LANDSAT 2000	0,5	500	60	0,92	1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a
LANDSAT 2000 Reamostrada	0,5	500	60	0,93	1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a
LANDSAT 2002	0,5	500	80	0,89	4 ^a
			100		1 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a
			140		2 ^a
LANDSAT 2002 Reamostrada	0,5	500	60	0,88	4 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a e 5 ^a
ASTER 2003	0,5	500	80	0,92	4 ^a
			100		1 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a
			140		2 ^a
ASTER 2003 Reamostrada	0,5	500	80	0,92	4 ^a
			100		1 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a
			140		2 ^a
ASTER 2006	0,5	500	60	0,95	1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a , 5 ^a
ASTER 2006 Reamostrada	0,5	500	60	0,96	1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a e 5 ^a

4.4.2 Experimentos Realizados Usando Oito Segmentos Vetorizados

Este experimento também foi realizado para todas as imagens de ajuste, só que para este caso foram utilizados oito segmentos na composição da malha relacional.

Para a busca da solução ótima da malha relacional foram seguidos os mesmos procedimentos da série de experimentos descrita anteriormente.

Os resultados desse experimento são apresentados na TABELA 7. Observa-se que o valor máximo da função *fitness* aumenta para quase todas as soluções ideais obtidas, quando comparado ao valor quando se utiliza cinco segmentos na composição da malha relacional. Para esse experimento também se teve que aumentar o tamanho da população, uma vez que aumentou o número de segmentos.

Os dados dos segmentos desta série de experimentos também são apresentados no Apêndice 3.

A resposta ótima que deve ser encontrada pelos algoritmos genéticos nesta série de experimentos é [1 2 3 4 5 6 7 e 8].

TABELA 7 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS VETORIZADOS MANUALMENTE

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO <i>FITNESS</i>	ITERAÇÃO
CBERS 2006	0,5	500	380	0,97	5 ^a
CBERS 2004	0,5	500	440	0,96	1 ^a
LANDSAT 2000	0,5	500	360	0,95	4 ^a
LANDSAT 2000	0,5	500	340	0,95	3 ^a
Reamostrada LANDSAT 2002	0,5	500	360	0,95	2 ^a
LANDSAT 2002	0,5	500	280	0,94	2 ^a
LANDSAT 2002	0,5	500	280	0,93	3 ^a
Reamostrada	0,5	500	300	0,93	3 ^a
ASTER 2003	0,5	500	320	0,95	2 ^a
ASTER 2003	0,5	500	260	0,95	4 ^a
Reamostrada	0,5	500	280	0,95	2 ^a
ASTER 2006	0,5	500	400	0,95	1 ^a
ASTER 2006	0,5	500	280	0,93	2 ^a
Reamostrada	0,5	500	340	0,97	3 ^a
Reamostrada	0,5	500	360	0,97	2 ^a
			380		1 ^a

Encontrada a solução ideal da malha relacional, o próximo passo consistiu no cálculo dos parâmetros da transformação geométrica para a realização da correção geométrica das imagens de ajuste.

4.5 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO GEOMÉTRICA PARA OS POLÍGONOS VETORIZADOS MANUALMENTE

O processo do cálculo dos parâmetros da transformação geométrica foi o mesmo utilizado para os centróides obtidos a partir dos segmentos resultantes do processo de segmentação. O cálculo do RMS para todas as imagens de ajuste é apresentado no Apêndice 7.

O resultado do RMS calculado para cinco e oito segmentos obtidos no processo de vetorização manual, para as imagens de ajuste, é mostrado na TABELA 8.

TABELA 8 – RESULTADO DOS RMS CALCULADOS PARA OS POLÍGONOS VETORIZADOS MANUALMENTE

IMAGEM DE AJUSTE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RMS (<i>Pixel</i>)
CBERS 2006	cinco	1,5
	oito	2,1
CBERS 2004	cinco	0,30
	oito	0,75
LANDSAT 2000	cinco	1,5
	oito	1,7
LANDSAT 2000 Reamostrada	cinco	2,5
	oito	2,5
LANDSAT 2002	cinco	0,29
	oito	0,85
LANDSAT 2002 Reamostrada	cinco	0,27
	oito	1,1
ASTER 2003	cinco	1,2
	oito	1,4
ASTER 2003 Reamostrada	cinco	0,82
	oito	0,91
ASTER 2006	cinco	2,7
	oito	3,0
ASTER 2006 Reamostrada	cinco	2,1
	oito	2,2

Os parâmetros da transformação geométrica para cada imagem de ajuste foram calculados quando o RMS foi menor que um *pixel*, e RMS de cada imagem de ajuste é observado na TABELA 9. Quando o RMS foi maior que um *pixel* e o número de segmentos na imagem de ajuste era maior que cinco segmentos, então, retirou-se os segmentos com o maior erro quadrático, na tentativa de reduzir o RMS. Mas o máximo de segmentos retirados por imagem foi três, uma vez que o número máximo de segmentos por imagem era de oito, e o número mínimo de segmentos cinco.

TABELA 9 – RESULTADO DOS RMS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO

IMAGEM DE AJUSTE	SEGMENTOS RETIRADOS	RMS (<i>Pixel</i>)
CBERS 2006	5, 6 e 7	0,37
CBERS 2004	1 e 6	0,30 e 0,36
LANDSAT 2000	5, 6 e 7	0,84
LANDSAT 2000 Reamostrada	1, 5 e 7	0,88
LANDSAT 2002	1 e 6	0,29 e 0,52
LANDSAT 2002 Reamostrada	4 e 8	0,27 e 0,33
ASTER 2003	4 e 5	0,47
ASTER 2003 Reamostrada	4 e 5	0,10
ASTER 2006	1, 4 e 6	0,84
ASTER 2006 Reamostrada	1, 4 e 5	0,83

Verifica-se também que é possível fazer a correção geométrica de todas as imagens de ajuste, quando se tem o centróide dos segmentos obtido pelo processo de vetorização manual, pois é possível obter um RMS menor que um *pixel*.

Verificado que foi possível encontrar a solução ótima da correspondência da malha e que os centróides podem ser utilizados para calcular os parâmetros da transformação espacial, e realizar assim a correção geométrica das imagens de ajustes. Então, o próximo passo é utilizar os segmentos obtidos no processo de segmentação para a composição da malha e os centróides desses para calcular os parâmetros da transformação espacial.

4.6 BUSCA DA CORRESPONDÊNCIA DA MALHA RELACIONAL A PARTIR DOS SEGMENTOS PROVINIENTES DO PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO

A seqüência de experimentos busca a solução ótima da correspondência da malha relacional composta pelos segmentos obtidos a partir do processo de segmentação. Para o primeiro experimento utilizou-se cinco segmentos para compor a malha, para o segundo usou-se todos os segmentos subdivididos no processo de segmentação. E o terceiro experimento trabalhou-se com oito segmentos distintos, sendo os cinco primeiros experimento um e mais três segmentos selecionados, tanto na

imagem de referência quanto nas imagens de ajuste, seguindo os mesmos procedimentos para seleção dos cinco segmentos iniciais.

Os cinco segmentos utilizados para compor a malha nas imagens de ajuste, que possuem resolução diferente da imagem de referência, tiveram as distâncias e as áreas dos segmentos corrigidos pela resolução referente a cada imagem de ajuste.

O segundo experimento foi realizado com todos os segmentos obtidos no processo de segmentação, ou seja, não foi calculado um novo centróide, unindo os segmentos subdivididos. Neste caso, o objetivo foi compor a malha das imagens de ajuste com os segmentos subdivididos. Já na imagem de referência trabalhou-se com cinco segmentos, então se o segmento está subdividido na imagem de ajuste, o algoritmo genético deve procurar seu correspondente na imagem de referência. Por exemplo, o segmento 1 da imagem ajuste CBERS II de 2006 foi subdividido em 3 segmentos distintos, 1, 1.1 e 1.2, então a busca deve ser feita da seguinte maneira: a parte 1 em relação ao segmento 1 da imagem de referência, a parte 1.2 em relação ao segmento 1 da imagem de referência e finalmente a parte 1.3 em relação ao segmento 1 da imagem de referência. Então, neste caso a solução ótima da correspondência seria [1 1 1 2 3 4 5].

As imagens de ajuste com resoluções diferentes tiveram as distâncias e as áreas corrigidas com base na resolução de cada imagem de ajuste, pois neste caso, a unidade dos centróides e das áreas dos segmentos é metro, e não *pixel*, como utilizado nas imagens reamostradas.

O terceiro experimento foi realizado com oito segmentos na composição da malha. Os segmentos da malha relacional das imagens, que possuem resolução diferente da imagem de referência, tiveram as distâncias e as áreas corrigidas pela resolução referente a cada imagem de ajuste. Neste caso também trabalhou com a unidade metro.

É importante relatar que, para cada experimento, é realizada uma série de testes, isto é, para cada imagem são realizadas cinco iterações, no intuito de encontrar a solução ótima de correspondência da malha relacional.

4.6.1 Experimento Realizado Usando Cinco Segmentos na Malha Relacional

Neste primeiro experimento com os segmentos vegetação, obtidos do processo de segmentação, classificação e seleção, foram utilizados cinco segmentos. Quando os segmentos ficaram subdivididos, esses foram agrupados manualmente. O agrupamento foi realizado da seguinte forma: as áreas foram somadas e os centróides foram obtidos pela equação 20, do item 4.1.

Para esse experimento as imagens que possuem resolução espacial diferente da imagem de referência tiveram as distâncias e as áreas corrigidas pela resolução referente a cada imagem de ajuste, pois se trabalhou com a unidade metro e não *pixel*. No caso da imagem LANDSAT 2000 que possui resolução 28,5 metros teve-se as distâncias (calculadas em *pixels*) multiplicadas por 28,5 e as áreas (calculadas em *pixels*) multiplicadas por 28,5 ao quadrado.

Os algoritmos genéticos foram testados para achar a correspondência da malha, utilizando as máximas iterações e o tamanho de população, que são mostrados na TABELA 5 do item 4.4.1.

A busca pela solução ideal da malha relacional foi realizada em todas as imagens de ajuste. Foram também realizados cinco testes para a máxima iteração e tamanho de população diferente. O fator “a” ponderador de FS e FE da função de aptidão, apresentado na equação 13, foi 0,5, determinado empiricamente. A solução ideal da malha para esta série de experimentos é a seqüência: [1 2 3 4 5]. Seguiu-se os mesmos procedimentos adotados para a busca da solução ideal das séries de experimentos com segmentos vetorizados manualmente.

Para as imagens de ajuste, CBERS II 2006 e LANDSAT 2000, são apresentadas nas TABELAS 11 e 12 respectivamente, contendo o identificador, o centróide, a área e a solução ideal, que são referentes aos dados de entrada do algoritmo no item 4.6.1.1. Para a imagem de referência é mostrada na TABELA 10 com o identificador, centróide e área, de cada segmento. No final de cada série de experimentos é apresentada uma tabela com as soluções ideais para a malha relacional.

4.6.1.1 Dados da imagem de referência

Os dados dos segmentos para a imagem de referência, os quais são utilizados na composição da malha relacional, são apresentados na TABELA 10. Esta tabela é composta pelos identificadores, centróide (X, Y) e área dos segmentos de vegetação selecionados. Os dados desta tabela são utilizados como referência para as imagens de ajuste.

O segmento quatro é uma composição dos segmentos 4 e 41, portanto, foi necessário calcular o novo centróide do segmento completo.

Quando os segmentos da malha da imagem de referência foram utilizados para buscar a malha relacional das imagens de ajuste, com resoluções diferentes. Os segmentos da imagem de referência tiveram as distâncias e áreas, corrigidas pela sua resolução, ou seja, pela resolução da imagem de referência, para que os centróides tivessem unidade metros e a área unidade metros quadrado.

TABELA 10 – DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM DE REFERÊNCIA

IDENTIFICADOR	CENTRÓIDE		ÁREA (<i>pixel</i>)
	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	
1	38,14	198,62	1827,00
2	180,57	327,81	925,00
3	415,45	283,91	937,00
4	434,96	46,67	1780,00
5	214,54	173,88	381,00
IDENTIFICADOR	CENTRÓIDE		ÁREA (m ²)
	X (m)	Y (m)	
1	762,8	3972,4	730800
2	3611,4	6556,2	370000
3	8309,0	5678,2	374800
4	8699,2	933,4	712000
5	4290,8	3477,6	152400

A seguir é apresentada uma tabela com dados da imagem de ajuste CBERS II 2006, juntamente com a correspondência ideal da malha. Os dados das demais imagens de ajuste (CBERS II 2004, LANDSAT 2000 e 2002 com resolução espacial original e reamostrada para 20 metros, e ASTER 2003 e 2006 com resolução original e reamostrada também para 20 metros) podem ser observados no Apêndice 1.

Ressalta-se que as soluções ótimas encontradas para a correspondência da malha relacional são mostradas em uma tabela no final de cada experimento.

4.6.1.2 Dados obtidos a partir das imagens de ajuste

A imagem CBERS 2006 possui a mesma resolução da imagem de referência, então, os dados dos segmentos utilizados pelos algoritmos genéticos na busca da solução ótima é dado em *pixel*. Os dados dos cinco segmentos, juntamente com a correspondência ideal esperada e a solução encontrada, podem ser verificados na TABELA 11.

TABELA 11 – DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM DE CBERS 2006

IDENTIFICADOR	CENTRÓIDE		ÁREA (<i>pixel</i>)	CORRESPONDÊNCIA IDEAL	SOLUÇÃO ENCONTRADA
	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)			
1	53,98	207,48	2094,00	[1 2 3 4 5]	[1 2 3 4 5]
2	193,68	346,23	1024,00		
3	429,09	292,19	1181,00		
4	444,86	57,78	1783,00		
5	230,14	187,03	380,00		

A imagem CBERS II 2004 também possui a mesma resolução espacial da imagem referência. A solução ótima da correspondência da malha relacional encontrada para esta imagem também foi [1 2 3 4 5].

A imagem LANDSAT 2000 possui resolução espacial 28,5 metros, diferente da imagem referência. Logo, os dados dessa imagem foram utilizados em metros conforme mostra a TABELA 12, ainda nesta tabela verifica-se a correspondência ideal que os algoritmos genéticos devem encontrar e a solução encontrada pelos mesmos.

TABELA 12 – DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM LANDSAT 2000 DE COM RESOLUÇÃO ESPACIAL DE 28,5 METROS

IDENTIFICADOR	CENTRÓIDE		ÁREA (m ²)	CORRESPONDÊNCIA IDEAL	SOLUÇÃO ENCONTRADA
	X (m)	Y (m)			
1	939,65	7250,12	792756,00	[1 2 3 4 5]	[1 2 3 4 5]
2	3778,53	9982,70	406937,25		
3	8543,24	8898,36	467856,00		
4	8834,15	4250,78	689600,25		
5	4569,98	6770,18	79600,50		

A imagem LANDSAT 2000 reamostrada possui a mesma resolução espacial da imagem referência, com isso, os dados são utilizados em *pixel*. A solução ótima de correspondência encontrada foi [1 2 3 4 5].

A imagem LANDSAT 2002 possui resolução diferente da imagem de referência, e os dados dos cinco segmentos selecionados para a composição da malha são utilizados em metros. Para esta imagem o segmento 3 representa apenas 38% da área do correspondente na imagem de referência; a diferença de área desse segmento em relação à imagem de referência é muito discrepante, mesmo assim, os algoritmos genéticos encontraram a correspondência ideal da malha. Nas outras imagens de ajuste ocorre diferença de área. Mas não é tão discrepante como acontece na imagem LANDSAT 2002.

As diferenças de área entre os segmentos da imagem de referência e imagem LANDSAT 2002 podem ser observadas na TABELA 13.

TABELA 13 – DIFERENÇAS DE ÁREAS DOS SEGMENTOS ENTRE A IMAGEM DE REFERÊNCIA E IMAGEM LANDSAT 2002

IDENTIFICADOR DO SEGMENTO	1	2	3	4	5
DIFERENÇA DE ÁREAS (m ²)	-39600	-44900	230800	24400	80400

Na TABELA 13, ainda pode ser observado que os segmentos 1, e 2 da imagem LANDSAT 2002 possuem área maior que os mesmos segmentos na imagem de referência, e os segmentos 3, 4 e 5 possuem áreas menores.

Nota-se que houve exploração de vegetação na área que representa o segmento de identificador 3 na imagem, percebendo-se assim, a subdivisão da mesma em

campo, e não no processo de segmentação. Então, verifica-se a existência de uma faixa explorada que separa a região em duas partes, logo, neste caso não foi possível somar as áreas de vegetação, pois o processo de segmentação não foi o responsável pela subdivisão das áreas.

Os dados dos segmentos selecionados na imagem LANDSAT 2002 reamostrada para a formação da malha são utilizados em *pixel*. Para esta imagem não foi possível obter a correspondência ideal da malha, pois, verifica-se que a área do segmento 3 representa apenas 31% da área do mesmo na imagem de referência. As diferenças das áreas entre os segmentos da imagem LANDSAT 2002 reamostrada, em relação à imagem de referência são encontradas na TABELA 14. Nesta tabela verifica-se que a diferença de área do segmento 3 é muito discrepante em relação aos outros segmentos.

TABELA 14 – DIFERENÇAS DE ÁREAS DOS SEGMENTOS ENTRE A IMAGEM LANDSAT 2002 REAMOSTRA E IMAGEM DE REFERÊNCIA

IDENTIFICADOR	1	2	3	4	5
DIFERENÇA DE ÁREAS (<i>pixel</i>)	84	-96	638	9	146

Neste caso os algoritmos genéticos não encontraram a solução ótima de correspondência da malha. Mas encontraram um solução sub-ótima [1 2 2 4 5], com máxima *fitness* de 0,90, nos primeiros testes com os tamanhos de população 100 e 120, e nos segundos testes com tamanhos de população de 120 e 140.

A imagem ASTER 2003 possui resolução diferente da imagem de ajuste. Sendo assim, os dados dos segmentos foram utilizados em metros. Para esta imagem foi possível encontrar a solução ótima da correspondência da malha.

Para a imagem ASTER 2003 reamostrada os dados dos segmentos selecionados para formar a malha relacional são apresentados em *pixel* e a solução encontrada foi: [1 2 3 4 5].

A imagem ASTER 2006 e a imagem de referência não possuem a mesma resolução. Portanto os dados dos segmentos selecionados para compor a malha desta imagem são utilizados em metros. Neste caso foi possível encontrar a solução ótima da correspondência da malha relacional.

A imagem ASTER 2006 reamostrada possui os dados dos segmentos selecionados para formar a malha em *pixel*. Neste caso também foi possível encontrar a correspondência ideal da malha relacional.

4.6.1.3 Resultado das soluções ideais da correspondência da malha usando cinco segmentos

O resultado da solução ótima da correspondência da malha, para cada imagem de ajuste, é mostrado na TABELA 15, ainda nesta tabela podem ser verificados o fator “a”, a máxima iteração do algoritmo, o tamanho da população, o valor máximo da função *fitness* e a iteração da correspondência ideal [1 2 3 4 5] encontrada.

TABELA 15 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA UTILIZANDO CINCO SEGMENTOS

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO <i>FITNESS</i>	ITERAÇÃO
CBERS II 2006	0,5	500	80	0,93	3 ^a , 4 ^a ,
			100		1 ^a , 3 ^a , 5 ^a
			120		2 ^a , 5 ^a
CBERS II 2004	0,5	500	60	0,91	5 ^a
			100		2 ^a , 5 ^a
			60		1 ^a
LANDSAT 2000	0,5	500	80	0,92	4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a
LANDSAT 2000 Reamostrada	0,5	500	140	0,95	2 ^a , 3 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a , 3 ^a
LANDSAT 2002	0,5	500	120	0,88	1 ^a , 5 ^a
			60		1 ^a
			100		1 ^a
LANDSAT 2002 Reamostrada	-	-	-	-	-
			60		1 ^a
			80		4 ^a
ASTER 2003	0,5	500	100	0,90	1 ^a
			120		1 ^a , 2 ^a
			80		3 ^a , 4 ^a
ASTER 2003 Reamostrada	0,5	500	100	0,93	1 ^a , 3 ^a
			120		2 ^a , 5 ^a
			140		1 ^a , 2 ^a , 4 ^a
ASTER 2006	0,5	500	60	0,93	1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a
ASTER 2006 Reamostrada	0,5	500	140	0,90	3 ^a
			60		1 ^a
			80		4 ^a
			100		1 ^a
			120		2 ^a , 5 ^a

4.6.2 Experimento Realizado Usando Todos os Segmentos Subdivididos no Processo de Segmentação

Para esta série de testes foram utilizados todos os segmentos obtidos no processo de segmentação. Iniciou-se este experimento com o fator “a” de 0,5, mas para não foi possível obter a solução ótima com esse fator, então, fez-se novas iterações do algoritmo variando o fator “a” de 0,1 em 0,1, para verificar se era possível obter a solução ótima de correspondência. Verificou-se que era necessário alterar o fator “a” ponderador de FS e FE de 0,5 para 0,1. Com o fator “a” igual 0,1 foi possível encontrar a solução ótima da correspondência da malha para todas as imagens de ajuste. Verifica-se que quando os segmentos são subdivididos a suas áreas dos é bem menor em relação a área do mesmo segmento na imagem de referência, então, neste caso, é necessário valorizar mais a distância entre os segmentos do que a área.

Para as imagens de ajuste com resolução diferente da imagem de referência, as distâncias e as áreas dos segmentos são multiplicadas pela resolução referente a cada imagem de ajuste, pois os dados são utilizados em metros.

Para esse experimento também foi necessário variar o tamanho da população, uma vez que aumentou o número de segmentos na imagem de ajuste. Sendo assim, não foi possível obter a solução ótima de correspondência da malha relacional com os tamanhos de populações utilizados no experimento realizado cinco segmentos na.

Neste experimento cada imagem de ajuste possui uma solução ótima da malha relacional diferente. Pois o segmento que foi subdividido na imagem CBERS II 2006 pode não ter sido subdividido na imagem CBERS II 2004, ou para qualquer outra imagem de ajuste.

Abaixo são apresentados os dados dos segmentos para a imagem de ajuste CBERS II 2006, assim como a correspondência ideal e a solução encontrada. Os dados dos segmentos das outras imagens de ajuste utilizados neste experimento são observados no Apêndice 2.

A TABELA 16 mostra todos os segmentos desta imagem que foram utilizados nos algoritmos genéticos em busca da malha relacional ideal de correspondência. São

apresentadas também a correspondência ideal que deve ser encontrada pelos algoritmos genéticos e a solução encontrada.

TABELA 16 – DADOS DOS SEGMENTOS DA IMAGEM CBERS DE 2006

IDENTIFICADOR	CENTRÓIDE		ÁREA (<i>pixel</i>)	CORRESPONDÊNCIA IDEAL	SOLUÇÃO ENCONTRADA
	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)			
1	54,31	214,29	1352	[1 1 1 2 3 4 5]	[1 1 1 2 3 4 5]
2	71,44	194,79	224		
3	45,57	195,21	518		
4	193,68	346,23	1024		
5	429,09	292,19	1181		
6	444,86	57,78	1783		
7	230,14	187,03	380		

Para a imagem CBERS II 2004 foram utilizados treze segmentos. E a correspondência ideal da malha relacional que os algoritmos genéticos devem encontrar é [1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5], e esta correspondência foi encontrada. Vale ressaltar que para esse experimento o fator FE tem mais peso do que o fator FS.

Os dados dos segmentos da imagem Landsat 2000 utilizados foram seis, sendo a busca da malha que os algoritmos genéticos devem encontrar [1 2 3 3 4 5]. Para essa imagem foi possível achar a solução ideal da correspondência da malha relacional.

Para a imagem Landsat 2000 reamostrada foram utilizados sete segmentos, sendo a resposta ideal da correspondência para este caso [1 1 2 3 4 4 5]. Os algoritmos genéticos encontraram a resposta ideal da correspondência.

Foram utilizados nove segmentos para a composição da malha relacional para a imagem Landsat 2002. Para este caso a correspondência ideal que deve ser encontrada é [1 1 1 1 2 2 3 4 5]. Os algoritmos genéticos conseguiram achar a correspondência ideal da malha para essa imagem.

A imagem Landsat 2002 reamostrada possui uma malha relacional composta por dez segmentos, e a solução perfeita da correspondência é [1 2 2 3 4 4 4 4 4 5]. Para essa imagem não foi possível encontrar a solução ótima de correspondência. Mas os algoritmos genéticos encontraram uma solução sub-ótima da correspondência [1 2 2 4 4 4 4 4 5], onde não foi possível encontrar o segmento de identificador 3. A solução sub-ótima foi encontrada com a máxima *fitness* de 0,90, na segunda e quinta iteração

com tamanho de população igual a 220, na terceira e quinta iteração com tamanho de população igual a 260 e na primeira e segunda iteração com tamanho de população igual a 280.

Para a imagem ASTER 2003 foram utilizados nove segmentos para compor a malha relacional. A solução ideal da correspondência da malha para essa imagem é [1 1 2 2 3 4 4 4 5]. Para esta imagem foi encontrada a solução ótima de correspondência.

A malha relacional da imagem ASTER 2003 reamostrada é composta por oito segmentos, e a solução ideal de correspondência que os algoritmos genéticos devem encontrar é [1 1 2 3 4 4 4 5]. Houve sucesso na busca da correspondência ideal da malha para esta imagem também.

A solução ótima da correspondência da malha relacional da imagem ASTER 2006 é composta por oito segmentos, ou melhor, pelos oito identificadores [1 2 3 3 4 4 4 5]. Foi possível encontrar a solução ótima da correspondência.

A malha relacional da imagem ASTER 2006 reamostrada é composta por oito segmentos, e a solução que os algoritmos genéticos devem achar é [1 1 1 2 3 4 4 5]. A solução ótima da correspondência da malha foi encontrada pelos algoritmos genéticos.

O resultado das soluções ideais encontradas da correspondência da malha relacional para cada imagem de ajuste é mostrado no item a seguir.

4.6.2.1 Resultado da solução ótima de correspondência da malha usando todos os segmentos subdivididos no processo de segmentação

A TABELA 17 apresenta o resultado da correspondência ótima encontrada pelos algoritmos genéticos para cada imagem de ajuste, juntamente com o fator “a”, a máxima iteração do algoritmo, o tamanho da população, o valor máximo da função *fitness* e a iteração onde foi possível obter a correspondência ideal.

TABELA 17 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OS SEGMENTOS SUBDIVIDIDOS

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO <i>FITNESS</i>	ITERAÇÃO
CBERS II 2006	0,1	500	140	0,97	3 ^a
			180		2 ^a
			200		1 ^a , 5 ^a
			220		1 ^a , 2 ^a , 3 ^a
			280		4 ^a
CBERS II 2004	0,1	500	320	0,92	1 ^a , 5 ^a
			120		1 ^a , 3 ^a , 4 ^a
			140		1 ^a , 2 ^a , 4 ^a
			160		3 ^a , 4 ^a
			180		1 ^a , 4 ^a
LANDSAT 2000	0,1	500	200	0,96	1 ^a , 3 ^a e 4 ^a
			140		2 ^a , 5 ^a
			160		3 ^a , 4 ^a
			180		4 ^a
			200		1 ^a , 4 ^a
LANDSAT 2000 Reamostrada	0,1	500	140	0,97	1 ^a , 4 ^a
			160		3 ^a , 5 ^a
			180		3 ^a , 5 ^a
			200		1 ^a , 4 ^a
			220		3 ^a , 5 ^a
LANDSAT 2002	0,1	500	180	0,90	1 ^a
			260		2 ^a
LANDSAT 2002 Reamostrada	-	-	-	-	-
ASTER 2003	0,1	500	180	0,91	5 ^a
			220		2 ^a
ASTER 2003 Reamostrada	0,1	500	180	0,94	3 ^a
			200		3 ^a , 4 ^a
			220		5 ^a
			240		5 ^a
			160		1 ^a , 4 ^a
ASTER 2006	0,1	500	180	0,94	4 ^a
			220		2 ^a
			220		2 ^a
ASTER 2006 Reamostrada	0,1	500	180	0,95	3 ^a , 5 ^a
			220		4 ^a

4.6.3 Experimento Realizado Usando Oito Segmentos na Malha Relacional

Para esse experimento utilizou-se os cinco segmentos do primeiro experimento com os segmentos obtidos dos processos segmentação, classificação e seleção. Também foi selecionado mais três segmentos de vegetação usando os mesmos critérios para a seleção dos primeiros cinco, totalizando assim oito segmentos na composição da malha relacional, conforme pode ser observado na FIGURA 30. Os dados dos segmentos utilizados na composição da malha estão no Apêndice 1.

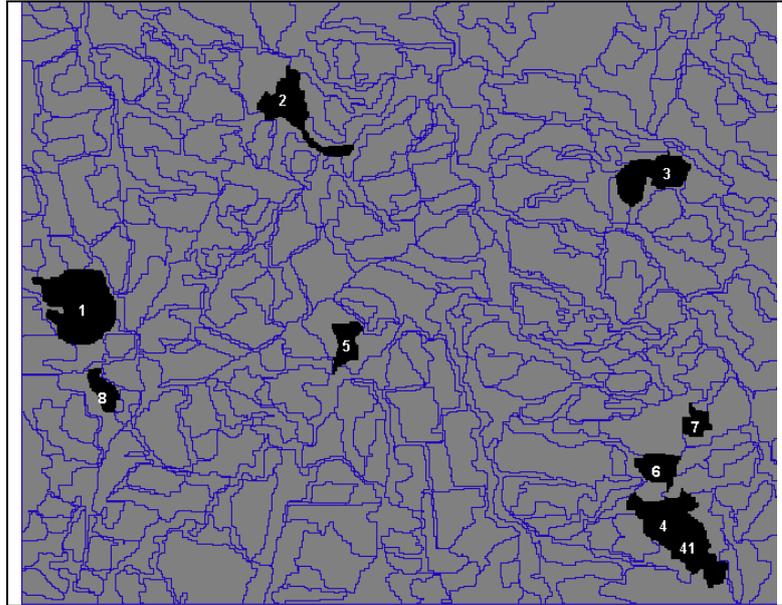


FIGURA 30 – OITO SEGMENTOS DA IMAGEM DE REFERÊNCIA

A solução ideal da correspondência da malha para cada imagem de ajuste para esta série de experimentos é [1 2 3 4 5 6 7 8].

O tamanho de população para esse experimento também foi alterado, uma vez que não foi possível obter a solução ideal a partir dos tamanhos de população utilizados nos experimentos, com cinco segmentos e com todos segmentos subdivididos na composição da malha.

O fator “a” inicial para esta seqüência de experimentos foi de 0,5. Mas para determinadas imagens, tais como, CBERS II 2004, LANDSAT 2000 e ASTER 2006 reamostrada, não foi possível encontrar a solução ótima. Então, fez-se novas iterações do algoritmo variando fator “a” de 0,1 em 0,1 até encontrar a solução perfeita de correspondência, e o resultado desta correspondência pode ser observado na TABELA 18.

TABELA 18 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO FITNESS	ITERAÇÃO
CBERS II 2006	0,5	500	280 320	0,94	2 ^a 4 ^a
CBERS II 2004	0,4	500	340 360	0,93	3 ^a 4 ^a
LANDSAT 2000	0,2	500	320	0,97	4 ^a
LANDSAT 2000 Reamostrada	0,5	500	300	0,93	1 ^a
LANDSAT 2002	0,5	500	260 280	0,92	1 ^a 2 ^a
LANDSAT 2002 Reamostrada	0,5	500	360 400	0,92	4 ^a 1 ^a
ASTER 2003	0,5	500	280	0,93	2 ^a
ASTER 2003 Reamostrada	0,5	500	320	0,95	5 ^a
ASTER 2006	0,5	500	360	0,93	4 ^a
ASTER 2006 Reamostrada	0,3	500	320	0,95	4 ^a

Finalizado a busca da solução ótima ou sub-ótima o próximo passo é utilizar os centróides dos segmentos das imagens de ajustes para calcular os parâmetros da transformação espacial. Quando o segmento não foi encontrado na Correspondência da malha, este não foi utilizado para o cálculo dos parâmetros. Mas antes de calcular os parâmetros da transformação, serão realizados mais quatro experimentos variando a imagem de referência. Estes experimentos serão realizados para verificar se os algoritmos genéticos encontram a solução ótima de correspondência da malha independentemente da imagem utilizada como referência e também verificar a qualidade radiométrica da imagem CBERS II 2006 de janeiro. Pois se percebe que na banda do infravermelho próximo ocorre confusão espectral entre as regiões de vegetação com áreas cultivadas principalmente no segmento cinco, que apresenta maior área na imagem de referência. Nesta época, janeiro, as plantações estão com alto estágio vegetativo, o que pode ter ocasionado confusão espectral.

4.7 BUSCA DA CORRESPONDÊNCIA DA MALHA RELACIONAL ADOTANDO OUTRA IMAGEM COMO REFERÊNCIA

Adotou-se outras imagens como referência para testar se é possível através dos algoritmos genéticos encontrar a solução ótima de correspondência da malha relacional. Tomou-se como referência as imagens ASTER 2006 e LANDSAT 2000. Primeiramente buscou-se a malha relacional com cinco e oito segmentos, tendo como imagem de referência a ASTER 2006 e posteriormente a correspondência da malha foi buscada para cinco e oito segmentos na composição, adotando a imagem LANDSAT 2000 como referência. Os dados utilizados nesses experimentos são apresentados nos Apêndices 4 e 5.

4.7.1 Experimento Usando a Imagem ASTER 2006 para Cinco Segmentos na Composição da Malha Relacional

Para esse experimento utilizou-se cinco segmentos para compor a malha relacional. Trabalhou-se com as imagens ASTER 2003, e as imagens LANDSAT 2000 e 2002 reamostradas para a resolução espacial de 15 metros, como imagens de ajuste. Não foi possível utilizar as imagens CBERS II reamostradas para a resolução espacial da imagem ASTER 2006, quando esta foi adotada como referência, pois quando se faz a segmentação dessas imagens, os segmentos escolhidos para a composição da malha ficaram bem diferentes dos segmentos obtidos da imagem de referência deste experimento. Adotou-se os mesmos procedimentos da série de experimentos utilizando cinco segmentos na composição da malha para buscar a solução ideal da correspondência da malha relacional. Mas, não foi possível encontrar a solução ótima da imagem ASTER 2003 para esses tamanhos de população. O resultado das soluções ideais encontradas, quando a imagem referência ASTER 2006, é mostrado na TABELA 19.

TABELA 19 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM CINCO SEGMENTOS PARA A IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO FITNESS	ITERAÇÃO
LANDSAT 2000	0,5	500	60	0,95	1 ^a
			80		3 ^a
			120		1 ^a e 2 ^a
LANDSAT 2002	0,5	500	60	0,86	1 ^a
			80		1 ^a
			120		1 ^a
Aster 2003	0,5	500	160	0,90	1 ^a

4.7.2 Experimentos Usando a Imagem ASTER 2006 como Referência para Oito Segmentos na Composição da Malha Relacional

Para esse experimento adotou-se oito segmentos na composição da malha relacional. A solução ótima foi encontrada somente para as imagens LANDSAT 2000 e ASTER 2003. O resultado da solução ótima encontrada é mostrado na TABELA 20.

TABELA 20 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS PARA A IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO FITNESS	ITERAÇÃO
LANDSAT 2000	0,5	500	320	0,95	5 ^a
LANDSAT 2002	-	-	-	-	-
ASTER 2003	0,5	500	260	0,91	4 ^a
			300		4 ^a

4.7.3 Experimentos Usando a Imagem LANDSAT 2000 como Referência para Cinco Segmentos na Composição da Malha Relacional

Para essa série de experimentos a imagem LANDSAT 2000 é adotada como referência. Neste experimento também não foi possível trabalhar com as imagens CBERS II reamostradas para a resolução espacial 28,5. As demais imagens de ajuste utilizadas neste experimento foram reamostradas para a resolução espacial de 28,5 metros.

Os mesmos procedimentos adotados nos experimentos com cinco segmentos na composição da malha relacional foram tomados neste experimento na busca de encontrar a solução ideal da correspondência da malha relacional.

Foi possível encontrar a solução ideal de correspondência para todas as imagens adotadas como ajuste, o resultado desta solução pode ser observado na TABELA 21.

TABELA 21 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM CINCO SEGMENTOS PARA A IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO FITNESS	ITERAÇÃO
ASTER 2006	0,5	500	80	0,95	3 ^a e 4 ^a
			100		1 ^a e 3 ^a
			120		1 ^a e 2 ^a
			140		2 ^a e 3 ^a
ASTER 2003	0,5	500	100	0,92	3 ^a
			120		1 ^a
LANDSAT 2002	0,5	500	100	0,92	3 ^a
			120		1 ^a

4.7.4 Experimentos Usando a Imagem LANDSAT 2000 como Referência para Oito Segmentos na Composição da Malha Relacional

Neste caso tomou-se oito segmentos para compor a malha relacional. Foi possível encontrar a solução ótima da correspondência da malha somente para as imagens ASTER 2003 e 2006, conforme é mostrado na TABELA 22.

TABELA 22 – RESULTADO DAS SOLUÇÕES IDEAIS ENCONTRADAS PARA A MALHA COM OITO SEGMENTOS PARA A IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	FATOR “a”	MÁXIMA ITERAÇÃO	TAMANHO DE POPULAÇÃO	FUNÇÃO FITNESS	ITERAÇÃO
ASTER 2006	0,5	500	320	0,96	5 ^a
ASTER 2003	0,3	500	340	0,95	2 ^a , 3 ^a e 5 ^a
LANDSAT 2002	-	-	-	-	3 ^a
					-

Observa-se que não foi possível obter a solução ideal de correspondência da malha relacional para a imagem LANDSAT 2002 reamostrada para as resoluções espaciais de 20, 15 e 28,5 metros.

Obtidas as soluções ideais de correspondência da malha relacional composta pelos segmentos obtidos dos processos segmentação, classificação e seleção, o passo seguinte consistiu no cálculo dos parâmetros da transformação geométrica para se fazer a correção das distorções das imagens.

4.8 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO POR M.M.Q

Nesta etapa da pesquisa foi realizado o cálculo dos parâmetros da transformação geométrica para a realização da correção geométrica das imagens de ajuste. Os centróides dos segmentos da composição da malha relacional foram utilizados para calcular os parâmetros do modelo de transformação. Quando o RMS calculado a partir do centróide dos cinco e oito segmentos da composição da malha foi menor que um *pixel*, realizou-se a correção geométrica das imagens.

A seguir são apresentados os resultados dos RMS calculados para cada imagem de ajuste em relação à imagem de referência. A correção das imagens de ajuste em relação a imagem de referência, foi realizada pelo processo imagem-imagem, utilizando os cinco e os oito centróides dos segmentos de vegetação selecionados para a composição da malha.

4.8.1 Correção Geométrica da CBERS II agosto 2006

O RMS calculado para os cinco segmentos foi de 2,1 *pixel* e para oito segmentos foi de 3,4 *pixel*. O resultado do RMS foi maior que um *pixel* quando a imagem foi corrigida utilizando-se o centróide dos segmentos, portanto, a qualidade da imagem corrigida não pôde ser considerada confiável. Mesmo utilizando os oito centróides não foi possível obter um RMS menor que um *pixel*. Eliminou-se alguns

centróides na tentativa de obter o RMS menor que um *pixel*, mas não obteve-se sucesso.

O resultado do cálculo do RMS para o centróide dos cinco segmentos, em *pixel*, é apresentado na TABELA 23.

TABELA 23 – CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM CBERS II 2006 UTILIZANDO CINCO SEGMENTOS

REF. X	REF. Y	AJUSTE X	AJUSTE Y	CORR. X	CORR. Y	ERRO X	ERRO Y	<i>e</i>
39,22	201,88	55,09	193	55,55	190,63	0,46	-2,37	2,42
181,93	72,37	195,07	53,9	194,94	54,56	-0,13	0,66	0,67
417,28	116,38	430,95	108,08	431,18	106,88	0,23	-1,2	1,22
436,73	354,1	446,75	343,08	446,89	342,38	0,14	-0,7	0,72
215,97	226,68	231,6	213,5	230,9	217,12	-0,7	3,62	3,68
RMS								2,1

A TABELA 24 apresenta o cálculo do RMS para o centróide dos oito segmentos.

TABELA 24 – CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM CBERS II 2006 UTILIZANDO OITO SEGMENTOS

REF. X	REF. Y	AJUSTE X	AJUSTE Y	CORR. X	CORR. Y	ERRO X	ERRO Y	<i>e</i>
39,22	201,88	55,09	193	52,69	188,57	-2,4	-4,43	5,04
181,93	72,37	195,07	53,9	196,53	55,72	1,46	1,82	2,33
417,28	116,38	430,95	108,08	431,58	106,32	0,63	-1,76	1,87
436,73	354,1	446,75	343,08	448,85	343,4	2,1	0,32	2,13
215,97	226,68	231,6	213,5	229,25	215,56	-2,35	2,06	3,13
422,34	310,17	434,97	303,56	434,87	299,79	-0,1	-3,77	3,78
447,69	279,9	462,62	266,26	460,49	269,49	-2,13	3,23	3,87
54,81	258,44	65,03	245,81	67,82	248,34	2,79	2,53	3,77
RMS								3,4

O valor do RMS de todas as imagens de ajuste é apresentado na TABELA 25 e as tabelas com os cálculos dos parâmetros da transformação para as demais imagens de ajuste, encontra-se no Apêndice 6.

TABELA 25 – RESULTADO DOS RMS PARA TODAS AS IMAGENS DE AJUSTE

IMAGEM DE AJUSTE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RMS (<i>Pixel</i>)
CBERS II 2006	cinco	2,1
	oito	3,4
CBERS II 2004	cinco	1,2
	oito	1,7
LANDSAT 2000	cinco	1,3
	oito	1,6
LANDSAT 2000 Reamostrada	cinco	1,6
	oito	3,5
LANDSAT 2002	cinco	2,1
	oito	2,2
LANDSAT 2002 Reamostrada	cinco	3,3
	oito	3,6
ASTER 2003	cinco	4,6
	oito	5,0
ASTER 2003 Reamostrada	cinco	2,0
	oito	2,6
ASTER 2006	cinco	2,6
	oito	5,0
ASTER 2006 Reamostrada	cinco	2,0
	oito	3,5

Observando a TABELA 25 percebe-se que o erro médio quadrático para todas as imagens são maiores que um, isto é, o erro é maior que um *pixel*. Na tentativa de reduzir RMS foram eliminados alguns segmentos dos conjuntos de oito segmentos obtidos nas imagens de ajuste. Para tanto, foram considerados como mínimo um conjunto com cinco segmentos. Assim, para os experimentos, usando os conjuntos de cinco segmentos, não foi retirado nenhum.

A TABELA 26 mostra o RMS para cada imagem de ajuste após a retirada de alguns segmentos. É percebido ainda nesta tabela que para algumas imagens de ajuste não foi possível reduzir o RMS, pois mais de três segmentos apresentavam erros quadráticos discrepantes, para o cálculo dos parâmetros da transformação.

TABELA 26 – RESULTADO DOS RMS DO CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO

IMAGEM DE AJUSTE	SEGMENTOS RETIRADOS	RMS (<i>Pixel</i>)
CBERS 2006	-	-
CBERS 2004	5, 6 e 7	0,27
LANDSAT 2000	1, 5 e 7	0,45
LANDSAT 2000 Reamostrada	5, 7 e 8	0,40
LANDSAT 2002	-	-
LANDSAT 2002 Reamostrada	-	-
ASTER 2003	-	-
ASTER 2003 Reamostrada	-	-
ASTER 2006	-	-
ASTER 2006 Reamostrada	1, 4 e 5	0,33

Pode-se observar na TABELA 26 que o centróide dos segmentos 1, 5 e 7 são os que mais tiveram maiores erros quadráticos, influenciando assim, na determinação dos parâmetros da transformação, mas os centróides dos segmentos 4 e 8 também tiveram erros quadráticos elevados, para as imagens LANDSAT 2000 reamostrada e ASTER 2006 reamostrada.

O segmento 5 é de forma alongada, e na imagem de referência este apresenta maior área do que o mesmo segmento nas demais imagens; isso se dá porque a imagem de referência é de janeiro, que é uma época em que a vegetação está com alto estágio vegetativo. O que pode ter ocorrido uma confusão espectral, no processo de segmentação, entre área de plantação e área de vegetação densa, fazendo com que parte da plantação se tornasse vegetação, com isso o segmento 5 ficou maior. A mesma confusão espectral ocorreu para o segmento 7, só que neste caso, a área de vegetação se parecia mais com área cultivada, diminuindo assim, a área desse segmento na imagem de referência.

Para a imagem LANDSAT 2002 e LANDSAT 2002 reamostrada não foi possível obter um RMS menor que um *pixel*. Lembrando que o segmento 3 possuía alteração de área devido à exploração de vegetação, sendo assim centróide deste segmento estava também muito diferente em relação ao centróide do referido segmento na imagem de referência. Como esse segmento não pode ser utilizado no cálculo dos parâmetros de transformação, não é possível calcular os parâmetros somente com quatro segmentos. Mesmo quando utilizou mais três segmentos não foi possível obter o RMS menor que um *pixel*.

Para as imagens ASTER 2003, ASTER 2003 reamostrada e ASTER 2006 também não foi possível obter um RMS menor que um *pixel*.

4.9 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO POR M.M.Q PARA AS IMAGENS ASTER 2006 E LANDSAT 2000

Na TABELA 27 é apresentado o valor obtido para o RMS quando utilizado o centróide de cinco e oito segmentos, tendo como imagem de referência ASTER 2006.

TABELA 27 – RMS DOS PARÂMETROS A PARTIR DE CINCO E OITO CENTROÍDES PARA IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RMS (<i>Pixel</i>)
ASTER 2003	5	2,1
	8	3,6
LANDSAT 2000	5	0,8
	8	0,9
LANDSAT 2002	5	2,0
	8	4,0

Realizou-se a correção geométrica da imagem quando RMS foi menor que um *pixel*, para o cálculo dos parâmetros da transformação, conforme pode ser observado na TABELA 28. Para as imagens em que o RMS foi maior que um *pixel*, adotou-se o processo de retirar os segmentos que tinham os maiores erros quadráticos.

TABELA 28 – RESULTADO DOS RMS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM ASTER 2006 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	SEGMENTOS RETIRADOS	RMS (<i>Pixel</i>)
ASTER 2003	-	-
LANDSAT 2000	4 e 5	0,5
LANDSAT 2002	4, 5 e 8	0,28

Verifica-se para a imagem ASTER 2003 não foi possível obter um RMS menor que um *pixel* a partir dos centróides utilizados. Para essa imagem mais de três segmentos tinham erros quadráticos elevados. Portanto, não foi possível fazer a correção geométrica dessa imagem.

Para a imagem LANDSAT 2000 como referência, os valores dos RMS utilizando cinco e oito segmentos são mostrados na TABELA 29.

TABELA 29 – RMS DOS PARÂMETROS A PARTIR DE CINCO E OITO CENTROÍDES PARA IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RMS (<i>Pixel</i>)
ASTER 2003	5	0,9
	8	2,1
ASTER 2006	5	0,07
	8	0,5
LANDSAT 2002	5	1,2
	8	1,5

Na TABELA 29 pode ser observado que para a imagem ASTER 2006 é possível calcular os parâmetros da transformação, ou seja, fazer a correção da imagem com cinco segmentos e com oito segmentos. Já para as demais imagens o RMS é maior que um *pixel*, com exceção para ASTER 2003 utilizando cinco segmentos. Para as imagens com RMS maior que um *pixel*, foi realizado a eliminação de alguns segmentos, na tentativa de reduzir o RMS, e o resultado desse processo é observado na TABELA 30.

TABELA 30 – RESULTADO DOS RMS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM LANDSAT 2000 COMO REFERÊNCIA

IMAGEM DE AJUSTE	SEGMENTOS RETIRADOS	RMS (Pixel)
ASTER 2003	-	-
ASTER 2006	nenhum	0,07e 0,50
LANDSAT 2002	4 e 5	0,5

Para a imagem ASTER 2003, não possível obter um RMS menor que um *pixel*, para essa imagem mais de três possuíam resíduos maiores que um *pixel*.

4.10 ANÁLISE DAS IMAGENS CORRIGIDAS

A verificação da correção geométrica das imagens de ajuste foi realizada apenas para as imagens em que os segmentos foram obtidos a partir do processo de segmentação, tendo como imagem de referência a CBERS II de janeiro de 2006.

Para as imagens de ajuste, CBERS II 2006, LANDSAT 2002 reamostrada e ASTER 2003, tinha-se mais de três centróides com resíduos grandes, os quais fizeram com que o RMS fosse maior ou igual a um *pixel*.

Foram coletados cinco pontos nas imagens de ajuste e calculou-se os parâmetros da transformação para esses pontos, analisando assim, o RMS obtidos por esses pontos. Quando os valores de RMS calculado a partir dos pontos utilizados para fazer a verificação da qualidade da correção geométrica for para menor que um *pixel*, isto significa que a correção geométrica da imagem foi de boa qualidade.

O resultado do cálculo dos parâmetros da transformação para os pontos de verificação da imagem CBERS II 2004 são apresentados na TABELA 31. Para as demais imagens de ajuste, o resultado do cálculo dos parâmetros da transformação é mostrado no Apêndice 8.

TABELA 31 – RESULTADO DA VERIFICAÇÃO DA CORREÇÃO GEOMÉTRICA PARA IMAGEM CBERS 2004

PTO	REF. X	REF. Y	AJUSTE X	AJUSTE Y	CORR. X	CORR. Y	ERRO X	ERRO Y	<i>e</i>
1	39,22	201,88	54,11	186,87	54,56	186,94	0,45	0,07	0,45
2	181,93	72,37	198,21	55,59	197,99	55,55	-0,22	-0,04	0,22
3	417,28	116,38	429,14	104,86	429,24	104,88	0,1	0,02	0,1
4	436,73	354,1	446,22	339,03	446,21	339,03	-0,01	0	0,01
5	54,81	258,44	69,04	245,91	68,72	245,86	-0,32	-0,05	0,33
RMS									0,27

O RMS para essa imagem foi de 0,27 *pixel*, como a resolução da imagem corrigida é 20 metros, então o RMS é de 5,4 metros.

Na imagem corrigida FIGURA 31b verifica-se que ocorre deslocamento em algumas áreas em relação à imagem de referência. Percebe-se que a distribuição espacial dos segmentos de vegetação presentes nas imagens não fornece uma geometria de boa qualidade, conforme mostra a FIGURA 31a.

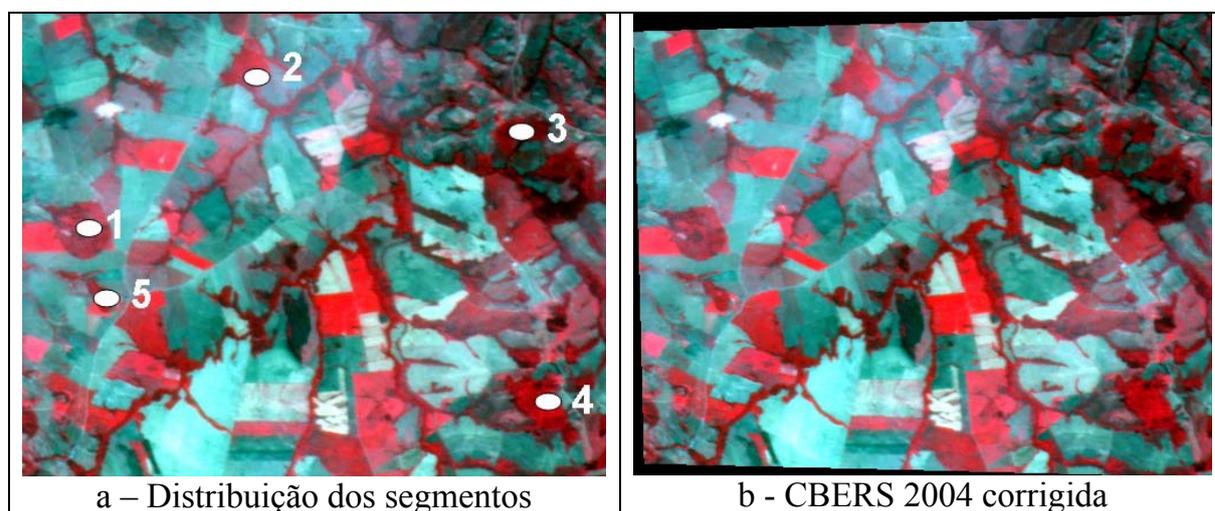


FIGURA 31 – ANÁLISE DA IMAGEM CORRIGIDA A PARTIR DOS CENTRÓIDES

Devido à má distribuição espacial dos centróides dos segmentos de vegetação, coletou-se mais dois pontos (4 e 5) na imagem para melhorar a geometria dos pontos. Teve-se dificuldades na obtenção dos pontos, devido a existência de uma variação temporal entre as imagens. A partir da utilização de mais dois pontos de controle junto

com o centróide dos segmentos, foi possível ter uma imagem corrigida na qual se reduziu o deslocamento em relação à imagem de referência. A distribuição dos pontos de controle e o centróide dos segmentos podem ser observados na FIGURA 32a, e a FIGURA 32b mostra a imagem corrigida a partir desses pontos.

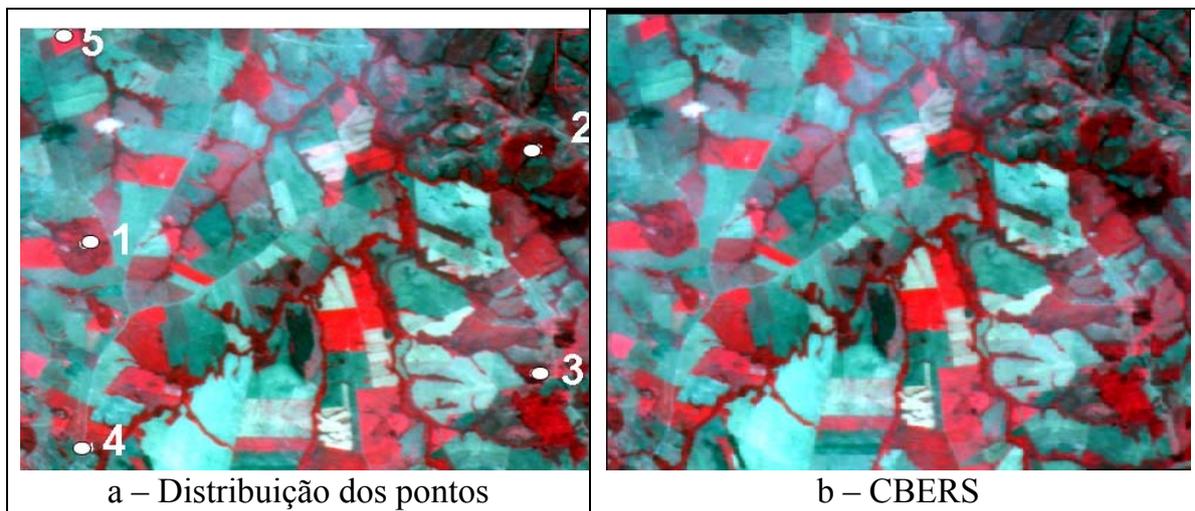


FIGURA 32 - ANÁLISE DA IMAGEM CORRIGIDA A PARTIR DOS CENTRÓIDES E PONTOS DE CONTROLE

5 CONCLUSÕES

Concluí-se que a metodologia proposta, para efetuar o registro de imagem-imagem por correspondência (*matching*), baseada nos algoritmos genéticos, foi eficiente na busca da solução ótima ou sub-ótima de correspondência da malha relacional necessária para o ajuste geométrico de imagens. O método é eficiente tanto para as imagens com mesma resolução espacial da imagem de referência, como para as imagens de resolução diferente. Foi possível também obter a solução ótima da correspondência da malha mesmo quando a essa estava composta por segmentos subdivididos. Só não foi possível obter solução ótima da correspondência da malha quando o segmento possuía área muito diferente da área do mesmo segmento na imagem de referência, pois neste caso a malha é afetada fortemente pela variação de tamanho.

Nota-se que é viável o uso de centróides como pontos de controle, mas é necessário que a distribuição espacial dos centróides dos segmentos de vegetação forneça uma boa geometria para realizar a correção geométrica. Quando os segmentos não possuem uma boa distribuição espacial pode-se atribuir mais pontos de controle, o que permite melhorar a distribuição dos pontos na imagem, levando-se a obter um melhor resultado da correção geométrica.

Verificou-se que os valores do RMS, quando se utiliza o centróide dos segmentos, são maiores que um *pixel*. Isso deve ocorrer devido à banda do infravermelho da imagem de referência CBERS II janeiro 2006, que não possui boa qualidade radiométrica, e também, porque em janeiro as plantações estão com alto estágio vegetativo, o que pode ter ocasionado confusão espectral entre regiões de vegetação com áreas cultivadas. Devido a esta confusão espectral, quando se faz o processo de segmentação das imagens, acontece a subdivisão das regiões de vegetação, provocando maiores deslocamento dos centróides, uma vez que o segmento na imagem de referência possui menor ou maior área quando comparado com o mesmo segmento nas imagens de ajuste.

Observou-se que quando foram utilizados os segmentos vetorizados manualmente foi possível encontrar a solução ótima de correspondência da malha

relacional para todas as imagens de ajuste. O RMS do cálculo dos parâmetros da transformação espacial foi menor que um *pixel*, e também menor que o RMS obtido pelos segmentos do processo de segmentação.

Verificou-se que é possível aplicar a metodologia a diferentes sensores, no caso do projeto de pesquisa, trabalhou-se com imagens de diferentes sensores e diferentes resoluções 15, 20, 28,5 e 30 metros, foi possível obter a solução ótima de correspondência da malha para quase todas as imagens. Os algoritmos genéticos não encontram a solução ótima de correspondência só quando o segmento da imagem de ajuste possui uma diferença muito discrepante em relação ao mesmo segmento na imagem de referência.

Percebe-se que, ao trabalhar com imagens multitemporais, é necessário analisar se as regiões a serem utilizadas para fazer parte da malha relacional sofreram alterações. Pois essas alterações podem prejudicar a área da região de vegetação, como ocorrido com a imagem LANDSAT 2002, onde se observa na imagem que houve exploração de uma das regiões que foi adotada para compor a malha relacional.

Avalia-se que ao utilizar os centróides para o cálculo dos parâmetros da transformação espacial tem-se uma agilidade no processo de correção geométrica, uma vez que, os segmentos utilizados possuam boa distribuição espacial e não sofram grandes modificações ao longo do tempo. Então, verifica-se que é pertinente utilizar áreas de vegetação, uma vez que, essas áreas estejam protegidas legalmente, de acordo com a legislação de Reserva Legal e Reserva Permanente.

Conclui-se que a metodologia proposta é pertinente, mas que é preciso que os segmentos utilizados tenham uma boa distribuição espacial.

6 RECOMENDAÇÕES

Percebeu-se que um dos problemas que provoca deslocamento nos centróides, quando se compara uma imagem de ajuste com a de referência, é o tamanho. E isso se deve a qualidade espectral das imagens. Quando a imagem não possui uma boa qualidade espectral, ou seja, quando se tem confusão espectral entre determinados elementos, no processo de segmentação, o tamanho do segmento varia, ficando assim maior ou menor, variando também o seu centróide. Então, é necessário testar outras técnicas de segmentação para a obtenção dos segmentos, técnicas em que a resolução espectral da imagem não influencia no resultado final da segmentação.

Recomenda-se avaliar outros parâmetros para compor a busca da malha relacional, como por exemplo, o fator compacidade. Aplicar a metodologia proposta para uma imagem maior, onde se possam obter mais segmentos. Como também avaliar esta metodologia proposta para imagens de mesma data, para verificar se os estádios das culturas influenciam no tamanho dos segmentos, ou seja, se ocorre confusão entre áreas de vegetação densa com áreas de cultura quando a plantação está no final da fase vegetativa e início da fase reprodutiva.

Ter-se o cuidado na escolha da imagem de referência para não prejudicar os testes, ou seja, verificar a qualidade das bandas espectrais.

Deve-se testar outros métodos de seleção dos operadores genéticos existentes, como também, considerar e avaliar outras funções aptidão, na tentativa de obter resultados melhores.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 147 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks. In: International Symposium on Operationalization of Remote Sensing, 2., 1999, Enschede. **Proceedings...** ITC, 16-20 agosto, 1999. p. 1-7. Disponível em: < http://www.definiens.com/binary_secure/409_itc1999.pdf>. Acesso em: 03 outubro 2006.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, 12., 2000, Karlsruhe. **STROBL, J. et al. (Hrsg.)...** Karlsruhe, Herbert Wichmann, 2000. p. 12-23. Disponível em: < http://www.definiens.com/binary_secure/405_baatz_fp_12.pdf >. Acesso em: 23 outubro 2006.

BAATZ, M.; BENZ, U.; DEHGHANI, S.; HEYNEN, M.; HÖLTJE, A.; HOFMANN, P.; LINGENFELDER, I.; MIMLER, M.; SOHLBACH, M.; WEBER, M.; WILLHAUCK, G. **eCognition: object oriented image analysis**. Alemanha, 2001.

BARBOSA, O. C. **Correção geométrica de imagem SPOT com uso de um modelo digital de elevação**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE, São José dos Campos. 1989.

BOERES, M. C. S. **Heurísticas para reconhecimento de cenas por correspondência de grafos**. PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

BROWN, L. G. A survey of image registration techniques. **ACM Computing Surveys**, New York, v. 24, n. 4, p. 325-376, 1992.

CATARINA, A. S. **Utilização de um algoritmo genético na otimização do lucro de uma propriedade agrícola**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel. 2000.

DIONISIO, C. R. P. **Características de Formas Planas Invariantes sob Transformações de Similaridade e Afim.** 93 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DUARTE, A. R. **Novas heurísticas e uma abordagem por programação inteira para um problema de correspondência inexata de grafos.** 85f. Dissertação (Mestrado em informática) - Departamento de informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004.

FEDOROV, D. **Sistema semi-automático de registro e mosaico de imagens.** 150 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE, São José dos Campos. 2002.

FONSECA, L. M. G. **Registro automático de imagens de sensoriamento remoto.** 219 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 1999.

FONSECA, L. M. G; MANJUNATH, B. S. Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p. 1049-1056, 1996.

Global Land Cover Facility – Earth Science Data Interface. Disponível em: <<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>. Acessado em: 28 setembro 2006.

GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization and machine learning.** Editora: Addison-Wesley. New York 1989. 412 p.

GONZALEZ, R. C; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais.** 2ª reimpressão ed. Edgard Blücher Ltda. 2005. 509 p.

GUPTA, R. P. **Remote sensing geology.** ed. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 1991. 356 p.

HEIPKE, C. Automation of interior, relative, and absolute orientation. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** v. 52, n. 1, p.1-19,1997.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: Divisão de geração de imagens. 2006. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 28 agosto 2006.

JENSEN J. R. **Introductory digital image processing a remote sensing perspective**. 2ª ed. New Jersey, 1996. 279 p.

LIAO, Y. H.; SUN, C.T. An educational genetic algorithms aearning tool. 2001. Disponível em: < <http://www.ewh.ieee.org/soc/es/May2001/14/Begin.htm>>. Acesso em: 21 outubro 2006.

LUGER, G. F. **Inteligência artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos**. Tradução Paulo Engel. 4 ed. Porto Alegre. Bookman, 2004. 774 p.

LUGNANI, J. B. **Introdução à fototriangulação**. 4. ed. Curitiba. Imprensa Universitária, 1987. 134 p.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. 2006. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/download/safra/boletim_safra9_06.pdf>. Acesso em: 28 agosto 2006.

MITCHELL, M. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge: Mit Press, 1997. 207 p.

NIBLACK, W. **An introduction to digital image processing**. New Jersey: Pretence/Hall. 1986.

PREFEITURA MUNICIPAL DA LAPA, 2006 - Produzido por Cymegasoft. Disponível em: <<http://www.lapa.pr.gov.br/default.asp>>. Acessado em: 11 maio 2007.

ROSENDO, J. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari-MG – utilizando dados do sensor MODIS**. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia Programa de Pós-graduação em Geografia, Uberlândia. 2005.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. Orlando. Academic Press, 1983. 249 p.

SILVA, C. R. **Uso de algoritmos genéticos como redutor de dimensionalidade na classificação de imagens hiperespectrais**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

TAO, C. V. e HU, Y. A. Comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.67, n.12, p. 1347–1357, 2001.

The Genetic Algorithm Optimization Toolbox (GAOT) for Matlab 5. Disponível em <<http://www.ise.ncsu.edu/mirage/GAToolBox/gaot/>>. Acessado em: 19 março 2007.

TON, J.; JAIN, A. K. Registering Landsat images by point matching. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 27, n. 5, p. 642-651, 1989.

YEPES, I. Uma incursão aos algoritmos genéticos. 2000. Disponível em <<http://www.geocities.com/igoryepes/>>. Acessado em: 31 julho 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Dados dos segmentos obtidos no processo de segmentação.

1.1 IMAGEM DE REFERÊNCIA EM PIXEL

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	38,14	198,62	1827,00
2	180,57	327,81	925,00
3	415,45	283,91	937,00
4	434,86	46,78	1780,00
5	214,54	173,88	381,00
6	420,50	90,60	445,00
7	445,80	120,80	259,00
8	53,70	142,20	313,00

1.2 IMAGEM DE REFERÊNCIA EM METROS

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	762,80	3972,40	730800,00
2	3611,40	6556,20	370000,00
3	8309,00	5678,20	374800,00
4	8697,12	935,60	712000,00
5	4290,80	3477,60	152400,00
6	8410,00	1812,00	178000,00
7	8916,00	2416,00	103600,00
8	1074,00	2844,00	125200,00

1.3 CBERS 2006

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	53,98	207,48	2094,00
2	193,68	346,23	1024,00
3	429,09	292,19	1181,00
4	444,86	57,78	1783,00
5	230,14	187,03	380,00
6	433,10	97,20	379,00
7	460,70	134,40	368,00
8	63,90	154,80	555,00

1.4 CBERS 2004

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	53,00	213,60	1865,00
2	196,82	344,54	1310,00
3	427,29	295,40	1020,00
4	444,33	61,81	1605,00
5	230,55	188,07	170,00
6	430,90	102,30	301,00
7	459,30	136,50	382,00
8	67,90	154,70	366,00

1.5 LANDSAT 2000

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	939,65	7250,12	792756,00
2	3778,53	9982,70	406937,25
3	8543,24	8898,36	467856,00
4	8834,15	4250,78	689600,25
5	4569,98	6770,18	79600,50
6	8575,65	5067,30	149454,00
7	9145,65	5762,70	157576,50
8	1262,55	6110,40	165699,00

1.6 LANDSAT 2000 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	40,42	193,87	1708,00
2	181,25	330,03	973,00
3	417,34	277,58	957,00
4	433,46	42,62	1724,00
5	220,08	169,80	210,00
6	420,50	84,60	403,00
7	449,10	118,10	370,00
8	47,20	140,70	591,00

1.7 LANDSAT 2002

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	1231,67	5873,87	770400,00
2	3590,21	9002,33	414900,00
3	8166,90	8693,70	144000,00
4	9497,10	4217,10	687600,00
5	4872,00	5987,70	72000,00
6	9108,00	4965,00	132300,00
7	9552,00	5745,00	146700,00
8	1737,00	4803,00	145800,00

1.8 LANDSAT 2002 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	40,33	167,41	1743,00
2	158,46	322,62	1021,00
3	386,82	305,68	299,00
4	453,11	84,30	1771,00
5	222,43	172,90	235,00
6	434,00	123,60	372,00
7	456,40	162,00	421,00
8	65,90	113,00	422,00

1.9 ASTER 2003

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	1174,58	4130,85	757350,00
2	4019,33	6883,80	399150,00
3	8502,75	5778,75	198450,00
4	9085,81	1129,95	681075,00
5	4806,30	3665,70	81000,00
6	8810,25	1950,60	150975,00
7	9407,07	2647,88	141750,00
8	1480,35	2993,25	149400,00

1.10 ASTER 2003 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	39,89	206,38	2000,00
2	183,56	342,98	1045,00
3	420,68	291,10	1173,00
4	438,05	55,07	1776,00
5	219,56	185,50	344,00
6	423,40	96,60	387,00
7	451,70	134,60	536,00
8	56,70	149,20	397,00

1.11 ASTER 2006

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	756,60	3820,50	773325,00
2	3624,30	6587,85	365400,00
3	8344,22	5471,50	464850,00
4	8642,30	838,63	736875,00
5	4377,60	3346,20	82800,00
6	8363,85	1661,10	158175,00
7	8963,10	2360,80	148275,00
8	930,75	2779,95	209250,00

1.12 ASTER 2006 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	38,12	191,89	2127,00
2	180,76	328,98	1021,00
3	417,51	274,20	1150,00
4	432,30	43,84	1625,00
5	220,08	167,55	190,00
6	419,70	82,30	401,00
7	446,50	111,20	239,00
8	48,00	138,80	554,00

APÊNDICE 2

Dados dos segmentos subdivididos no processo de segmentação.

2.1 CBERS 2006

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	54,31	214,29	1352,00
12	71,44	194,79	224,00
11	45,57	195,21	518,00
2	193,68	346,23	1024,00
3	429,09	292,19	1181,00
4	444,86	57,78	1783,00
5	230,14	187,03	380,00

2.2 CBERS 2004

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	44,98	224,05	745,00
12	68,42	219,08	290,00
11	54,82	202,30	830,00
21	203,33	353,81	363,00
2	185,85	351,59	528,00
22	204,99	327,63	419,00
32	440,80	298,22	232,00
3	416,13	293,69	389,00
31	430,31	295,42	399,00
4	433,98	79,08	409,00
41	442,57	61,66	839,00
42	460,32	42,39	357,00
5	230,55	188,07	170,00

2.3 LANDSAT 2000

Identificador	X (m)	Y (m)	Area (m ²)
1	939,65	7250,12	792756,00
2	3778,53	9982,70	406937,25
3	8274,12	8885,73	167323,50
31	8693,07	8905,40	300532,50
4	8834,15	4250,78	689600,25
5	4569,98	6770,18	79600,50

2.4 LANDSAT 2000 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
11	41,11	198,98	1299,00
1	38,21	177,63	409,00
2	181,25	330,03	973,00
3	417,34	277,58	957,00
4	435,76	44,54	1361,00
41	424,86	35,44	363,00
5	220,08	169,80	210,00

2.5 LANDSAT 2002

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
12	1072,20	5980,80	314100,00
13	1399,80	6184,80	126900,00
11	1442,70	5644,50	244800,00
1	960,90	5674,20	84600,00
21	3786,60	9121,50	108000,00
2	3521,10	8960,40	306900,00
3	8166,90	8693,70	144000,00
4	9497,10	4217,10	687600,00
5	4872,00	5987,70	72000,00

2.6 LANDSAT 2002 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	40,33	167,41	1743,00
21	167,87	329,28	239,00
2	155,59	320,58	782,00
3	386,82	305,68	299,00
44	467,17	86,76	228,00
41	444,63	92,73	679,00
42	458,84	79,04	229,00
4	429,83	87,32	266,00
43	473,25	68,35	369,00
5	222,43	172,90	235,00

2.7 ASTER 2003

Identificação	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
11	1210,65	4245,00	541575,00
1	1084,05	3844,20	215775,00
21	4209,90	7032,45	101025,00
2	3954,75	6833,40	298125,00
3	8502,75	5778,75	198450,00
4	8729,85	1499,70	99900,00
41	8984,85	1245,30	328050,00
42	9357,15	834,60	253125,00
5	4806,30	3665,70	81000,00

2.8 ASTER 2003 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
11	41,88	212,22	1421,00
1	35,02	192,05	579,00
2	183,56	342,98	1045,00
3	420,68	291,10	1173,00
4	431,00	64,91	884,00
41	453,61	46,70	435,00
42	436,88	44,00	457,00
5	219,56	185,50	344,00

2.9 ASTER 2006

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	756,60	3820,50	773325,00
2	3624,30	6587,85	365400,00
3	8541,00	5564,85	234900,00
31	8143,20	5376,15	229950,00
4	8287,65	1195,35	124425,00
41	8756,85	828,90	441675,00
42	8604,45	603,90	170775,00
5	4377,60	3346,20	82800,00

2.10 ASTER 2006 REAMOSTRADA

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	32,02	178,54	670,00
11	37,47	194,50	1042,00
12	49,61	206,87	415,00
2	180,76	328,98	1021,00
3	417,51	274,20	1150,00
4	422,57	56,94	624,00
41	438,36	35,68	1001,00
5	220,08	167,55	190,00

APÊNDICE 3

Dados dos segmentos vetorizados manualmente.

3.1 IMAGEM DE REFERÊNCIA

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	621004,76	7161632,58	722471,21
2	623870,40	7164407,80	397481,44
3	628355,60	7163326,75	342281,15
4	628966,87	7158582,56	677260,36
5	624686,01	7161181,12	64874,16
6	628670,45	7159468,98	126800,11
7	629260,50	7160243,93	123206,82
8	621364,18	7160543,03	143509,63

3.2 CBERS 2006

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	619721,33	7161209,89	772197,81
2	622619,96	7163994,20	417647,47
3	627372,73	7162901,49	407560,33
4	627692,65	7158148,86	679036,40
5	623416,54	7160754,19	86870,77
6	627389,31	7159009,39	133545,24
7	627984,02	7159794,85	127018,06
8	620115,24	7160112,84	145192,31

3.3 CBERS 2004

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	620352,79	7162913,21	781483,89
2	623159,16	7165662,17	417174,87
3	627616,86	7164601,22	388164,30
4	628272,21	7159858,08	755910,20
5	624003,04	7162467,38	76786,91
6	627967,56	7160706,17	127009,47
7	628558,53	7161494,76	146479,34
8	620693,88	7161810,54	147879,44

3.4 LANDSAT 2000

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	621061,05	7161603,49	761430,09
2	623914,22	7164389,37	409352,74
3	628722,97	7163308,67	483863,85
4	629032,24	7158577,57	717543,50
5	624725,95	7161165,13	90103,17
6	628724,07	7159421,50	144308,09
7	629332,11	7160215,95	125240,36
8	621445,38	7160501,27	163841,76

3.5 LANDSAT 2000 REAMOSTRADA

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	621091,88	7161611,00	742953,42
2	623951,08	7164372,44	404744,36
3	628732,95	7163271,55	471974,24
4	629059,54	7158554,89	717139,10
5	624740,84	7161156,17	94704,02
6	628763,68	7159408,85	142764,46
7	629346,49	7160196,02	135367,80
8	621454,53	7160463,77	126261,62

3.6 LANDSAT 2002

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	621920,33	7161770,93	792729,77
2	624343,55	7164961,98	442088,56
3	628966,42	7164581,82	185444,84
4	630335,63	7160057,77	784696,81
5	625641,22	7161881,27	87108,91
6	629882,45	7160911,36	156333,59
7	630332,78	7161736,00	135639,62
8	622497,88	7160715,28	150007,05

3.7 LANDSAT 2002 REAMOSTRADA

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	621696,39	7161713,78	811686,35
2	624094,93	7164905,38	456322,39
3	628709,92	7164542,41	194581,78
4	630112,02	7160042,15	791818,85
5	625414,87	7161859,87	87628,84
6	629618,83	7160832,14	171084,25
7	630086,81	7161671,94	139357,84
8	622243,38	7160659,06	150063,45

3.8 ASTER 2003

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	620822,44	7161684,56	765729,95
2	623695,20	7164466,98	422009,68
3	628231,09	7163261,50	180361,65
4	628817,53	7158617,79	706505,70
5	624489,82	7161221,19	82609,94
6	628511,60	7159505,94	150362,08
7	629101,51	7160277,37	143028,88
8	621197,70	7160562,30	154039,40

3.9 ASTER 2003 REAMOSTRADA

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	620832,05	7161675,19	775071,03
2	623717,52	7164452,69	416799,77
3	628233,30	7163257,36	189418,06
4	628817,45	7158604,48	727635,20
5	624491,63	7161219,03	84547,00
6	628511,64	7159507,07	144476,66
7	629110,74	7160258,22	131880,50
8	621200,18	7160558,89	146386,69

3.10 ASTER 2006

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	620821,30	7161690,36	760448,50
2	623672,90	7164450,12	411644,04
3	628470,14	7163308,54	424304,32
4	628800,65	7158629,59	676644,06
5	624498,69	7161224,72	81670,50
6	628486,38	7159519,45	136106,95
7	629081,40	7160283,36	133190,37
8	621184,95	7160568,65	145913,59

3.11 ASTER 2006 REAMOSTRADA

Identificador	X (m)	Y (m)	Área (m ²)
1	620830,96	7161692,29	752217,49
2	623693,33	7164461,44	396964,87
3	628487,05	7163337,12	388110,40
4	628807,94	7158628,04	707388,21
5	624501,02	7161218,74	81205,79
6	628487,45	7159500,23	139871,37
7	629089,66	7160270,17	141005,58
8	621203,70	7160561,69	131330,81

APÊNDICE 4

Dados dos segmentos das imagens de ajuste reamostrada para 15 metros.

4.1 LANDSAT 2000

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área(<i>pixel</i>)
1	62,78	246,68	3199,00
2	251,60	427,38	1669,00
3	565,40	351,24	2222,00
4	589,37	47,14	3002,00
5	303,21	215,83	344,00
6	571,38	102,27	703,00
7	610,35	147,17	776,00
8	76,63	178,48	1162,00

4.2 LANDSAT 2002

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	65,80	170,50	3131,00
2	224,16	377,00	1813,00
3	527,80	358,30	613,00
4	616,55	59,50	2835,00
5	308,40	178,30	277,00
6	591,60	111,00	735,00
7	620,80	162,90	641,00
8	98,90	99,50	606,00

4.3 ASTER 2003

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	78,31	275,39	3366,00
2	267,96	458,92	1774,00
3	566,85	385,25	882,00
4	605,72	75,33	3027,00
5	320,42	244,38	360,00
6	587,35	130,04	671,00
7	627,14	176,53	630,00
8	98,69	199,55	664,00

APÊNDICE 5

Dados dos segmentos das imagens de ajuste reamostradas para 28,5 metros.

5.1 LANDSAT 2002

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	43,20	203,50	918,00
2	129,11	309,16	594,00
3	286,70	303,30	238,00
4	332,90	145,40	779,00
5	170,90	208,50	95,00
6	319,70	171,60	144,00
7	335,70	198,80	169,00
8	55,00	169,50	333,00

5.2 ASTER 2003

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	81,06	255,76	955,00
2	180,12	350,06	451,00
3	337,56	313,20	215,00
4	358,23	149,94	893,00
5	207,68	239,05	114,00
6	349,60	178,84	175,00
7	370,19	204,91	209,00
8	85,87	220,59	338,00

5.3 ASTER 2006

Identificador	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	Área (<i>pixel</i>)
1	43,18	223,51	942,00
2	143,63	320,99	485,00
3	313,12	285,61	403,00
4	320,45	119,21	877,00
5	171,39	207,87	104,00
6	311,47	147,13	176,00
7	331,81	172,10	186,00
8	54,79	184,31	188,00

APÊNDICE 6

Erro em (X, Y), o erro quadrático (e) e o erro médio quadrático (RMS) calculado para os cinco e oito centróides dos segmentos obtidos da segmentação.

6.1 CBERS 2006 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	e
1	55,09	193	55,55	190,63	0,46	-2,37	2,42
2	195,07	53,9	194,94	54,56	-0,13	0,66	0,67
3	430,95	108,08	431,18	106,88	0,23	-1,2	1,22
4	446,75	343,08	446,89	342,38	0,14	-0,7	0,72
5	231,6	213,5	230,9	217,12	-0,7	3,62	3,68

6.2 CBERS 2006 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	e
1	55,09	193	52,69	188,57	-2,4	-4,43	5,04
2	195,07	53,9	196,53	55,72	1,46	1,82	2,33
3	430,95	108,08	431,58	106,32	0,63	-1,76	1,87
4	446,75	343,08	448,85	343,4	2,1	0,32	2,13
5	231,6	213,5	229,25	215,56	-2,35	2,06	3,13
6	434,97	303,56	434,87	299,79	-0,1	-3,77	3,78
7	462,62	266,26	460,49	269,49	-2,13	3,23	3,87
8	65,03	245,81	67,82	248,34	2,79	2,53	3,77

6.3 CBERS 2004 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	e
1	54,11	186,87	54,56	186,94	0,45	0,07	0,45
2	198,21	55,59	197,99	55,55	-0,22	-0,04	0,22
3	429,14	104,86	429,24	104,88	0,1	0,02	0,1
4	446,22	339,03	446,21	339,03	-0,01	0	0,01
5	69,04	245,91	68,72	245,86	-0,32	-0,05	0,33

6.4 CBERS 2004 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	e
1	54,11	186,87	54,91	186,9	0,8	0,03	0,8
2	198,21	55,59	198,12	55,45	-0,09	-0,14	0,16
3	429,14	104,86	430,31	104,54	1,17	-0,32	1,22
4	446,22	339,03	447,54	339,33	1,32	0,3	1,35
5	232,01	212,46	229,74	213,13	-2,27	0,67	2,37
6	432,76	298,44	433,62	296,13	0,86	-2,31	2,46
7	461,22	264,16	459,05	266,1	-2,17	1,94	2,91
8	69,04	245,91	69,43	245,74	0,39	-0,17	0,42

6.5 LANDSAT 2000 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	34,04	145,97	35,32	145,2	1,28	-0,77	1,49
2	133,85	49,85	133,49	50,06	-0,36	0,21	0,42
3	301,36	87,99	302,01	87,6	0,65	-0,39	0,76
4	311,59	251,48	311,97	251,25	0,38	-0,23	0,44
5	161,67	162,85	159,72	164,03	-1,95	1,18	2,27

6.6 LANDSAT 2000 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	34,04	145,97	34,31	144,45	0,27	-1,52	1,54
2	133,85	49,85	134,07	50,51	0,22	0,66	0,7
3	301,36	87,99	302,19	87,22	0,83	-0,77	1,13
4	311,59	251,48	312,5	251,3	0,91	-0,18	0,93
5	161,67	162,85	159,12	163,34	-2,55	0,49	2,59
6	302,5	222,75	303,14	221,23	0,64	-1,52	1,65
7	322,54	198,29	321,27	200,12	-1,27	1,83	2,22
8	45,39	186,06	46,34	187,07	0,95	1,01	1,38

6.7 LANDSAT 2000 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
	41,5	206,65	43,05	205,69	1,55	-0,96	1,83
	182,61	70,14	182,18	70,41	-0,43	0,27	0,51
	419,18	122,72	419,97	122,23	0,79	-0,49	0,93
	435,33	358,27	435,79	357,99	0,46	-0,28	0,54
	221,52	230,77	219,15	232,24	-2,37	1,47	2,79

6.8 LANDSAT 2000 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	41,5	206,65	38,59	203,44	-2,91	-3,21	4,33
2	182,61	70,14	184,77	71,74	2,16	1,6	2,69
3	419,18	122,72	420,02	121,69	0,84	-1,03	1,33
4	435,33	358,27	437,26	358,24	1,93	-0,03	1,93
5	221,52	230,77	216,05	230,39	-5,47	-0,38	5,48
6	422,34	316,19	423,13	314,67	0,79	-1,52	1,71
7	451	282,6	449,03	284,51	-1,97	1,91	2,74
8	48,29	259,95	52,9	262,6	4,61	2,65	5,32

6.9 LANDSAT 2002 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	42,14	204,71	44,34	203,76	2,2	-0,95	2,39
2	120,91	100,17	120,3	100,43	-0,61	0,26	0,67
3	273,78	110,48	274,89	110	1,11	-0,48	1,21
4	318,2	260,08	318,85	259,8	0,65	-0,28	0,71
5	163,73	200,91	160,38	202,36	-3,35	1,45	3,65

6.10 LANDAST 2002 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	42,14	204,71	43,57	203,3	1,43	-1,41	2,01
2	120,91	100,17	120,63	100,71	-0,28	0,54	0,61
3	273,78	110,48	275,57	109,6	1,79	-0,88	2,00
4	318,2	260,08	320,63	259,76	2,43	-0,32	2,45
5	163,73	200,91	160,39	201,86	-3,34	0,95	3,48
6	305,21	235,09	305,18	233,41	-0,03	-1,68	1,68
7	320,04	209,02	317,57	211,09	-2,47	2,07	3,22
8	59,02	240,5	59,49	241,23	0,47	0,73	0,86

6.11 LANDSAT 2002 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	41,41	233,17	44,83	231,53	3,42	-1,64	3,8
2	159,78	77,57	158,83	78,03	-0,95	0,46	1,06
3	388,6	94,55	390,33	93,72	1,73	-0,83	1,92
4	455,02	316,49	456,03	316	1,01	-0,49	1,12
5	223,88	227,67	218,67	230,17	-5,21	2,5	5,78

6.12 LANDSAT 2002 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	41,41	233,17	43,76	231,37	2,35	-1,8	2,96
2	159,78	77,57	159,27	78,23	-0,51	0,66	0,84
3	388,6	94,55	391,45	92,73	2,85	-1,82	3,38
4	455,02	316,49	458,9	314,47	3,88	-2,02	4,38
5	223,88	227,67	218,81	229,41	-5,07	1,74	5,36
6	435,87	277,09	435,77	275,66	-0,1	-1,43	1,43
7	458,31	238,59	454,34	242,57	-3,97	3,98	5,62
8	67,03	287,72	67,6	288,41	0,57	0,69	0,9

6.13 ASTER 2003 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	79,42	225,06	84,31	223,08	4,89	-1,98	5,28
2	269,34	41,16	267,98	41,71	-1,36	0,55	1,47
3	568,66	114,98	571,14	113,98	2,48	-1	2,67
4	607,59	425,52	609,04	424,93	1,45	-0,59	1,56
5	321,88	256,13	314,43	259,15	-7,45	3,02	8,04

6.14 ASTER 2003 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	79,42	225,06	82,28	221,61	2,86	-3,45	4,48
2	269,34	41,16	268,95	42,59	-0,39	1,43	1,49
3	568,66	114,98	572,68	113,22	4,02	-1,76	4,39
4	607,59	425,52	612,6	424,94	5,01	-0,58	5,04
5	321,88	256,13	314,12	257,77	-7,76	1,64	7,93
6	589,19	370,7	590,64	367,85	1,45	-2,85	3,2
7	629,04	324,12	622,53	327,71	-6,51	3,59	7,43
8	99,83	301,05	101,15	303,04	1,32	1,99	2,39

6.15 ASTER 2003 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	40,97	169,07	41,81	166,91	0,84	-2,16	2,32
2	184,93	32,1	184,7	32,7	-0,23	0,6	0,65
3	422,52	84,12	422,95	83,02	0,43	-1,1	1,18
4	439,93	320,78	440,18	320,14	0,25	-0,64	0,69
5	221	190	219,72	193,3	-1,28	3,3	3,54

6.16 ASTER 2003 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	40,97	169,07	41,58	166,93	0,61	-2,14	2,23
2	184,93	32,1	184,83	32,72	-0,1	0,62	0,63
3	422,52	84,12	423,19	82,2	0,67	-1,92	2,03
4	439,93	320,78	440,34	319,57	0,41	-1,21	1,28
5	221	190	219,65	192,92	-1,35	2,92	3,22
6	425,25	279,14	426,4	275,98	1,15	-3,16	3,36
7	453,61	241,04	452,12	245,46	-1,49	4,42	4,66
8	57,81	226,4	57,9	226,87	0,09	0,47	0,48

6.17 ASTER 2006 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	51,51	245,79	54,02	244,12	2,51	-1,67	3,01
2	242,97	60,93	242,27	61,4	-0,7	0,47	0,84
3	558,08	135,5	559,35	134,65	1,27	-0,85	1,53
4	577,98	444,98	578,72	444,48	0,74	-0,5	0,89
5	293,26	277,47	289,44	280,02	-3,82	2,55	4,59

6.18 ASTER 2006 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	51,51	245,79	49,17	240,08	-2,34	-5,71	6,17
2	242,97	60,93	245,12	63,84	2,15	2,91	3,62
3	558,08	135,5	559,45	133,45	1,37	-2,05	2,47
4	577,98	444,98	579,91	444,42	1,93	-0,56	2,01
5	293,26	277,47	286	276,51	-7,26	-0,96	7,32
6	559,39	390,04	561,55	387,32	2,16	-2,72	3,47
7	599,4	343,3	596,43	347,5	-2,97	4,2	5,15
8	63,14	315,3	68,1	320,19	4,96	4,89	6,96

6.19 ASTER 2006 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	39,2	183,6	41,4	182,74	2,2	-0,86	2,36
2	182,12	46,14	181,51	46,38	-0,61	0,24	0,66
3	419,35	101,07	420,46	100,64	1,11	-0,43	1,2
4	434,16	332,04	434,81	331,79	0,65	-0,25	0,7
5	221,52	208	218,16	209,31	-3,36	1,31	3,6

6.20 ASTER 2006 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	39,2	183,6	37,9	179,63	-1,3	-3,97	4,17
2	182,12	46,14	183,57	48,03	1,45	1,89	2,38
3	419,35	101,07	420,24	101,28	0,89	0,21	0,92
4	434,16	332,04	435,51	334,94	1,35	2,9	3,2
5	221,52	208	215,55	207,79	-5,97	-0,21	5,97
6	421,54	293,48	421,84	291,98	0,3	-1,5	1,53
7	448,39	264,5	447,9	262,2	-0,49	-2,3	2,35
8	49,1	236,83	52,86	239,8	3,76	2,97	4,79

APÊNDICE 7

Erro em (X, Y) e RMS calculado para os cinco e oito centróides dos segmentos obtidos da vetorização manual dos polígonos.

7.1 CBERS 2006 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	49	194	47,38	193,86	-1,62	-0,14	1,62
2	194	54	194,42	54,04	0,42	0,04	0,42
3	432	109	431,08	108,92	-0,92	-0,08	0,93
4	448	347	447,48	346,96	-0,52	-0,04	0,52
5	234	216	236,64	216,23	2,64	0,23	2,65

7.2 CBERS 2006 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	49	194	48,26	193,71	-0,74	-0,29	0,8
2	194	54	194,2	54,08	0,2	0,08	0,22
3	432	109	429,79	109,02	-2,21	0,02	2,21
4	448	347	444,6	347,52	-3,4	0,52	3,43
5	234	216	236,2	216,27	2,2	0,27	2,22
6	432	304	432,8	303,23	0,8	-0,77	1,12
7	462	264	465,46	264,05	3,46	0,05	3,46
8	69	248	68,68	248,14	-0,32	0,14	0,35

7.3 CBERS 2004 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	51	189	50,87	189,3	-0,13	0,3	0,33
2	191	52	191,03	51,92	0,03	-0,08	0,09
3	414	105	413,93	105,17	-0,07	0,17	0,19
4	447	342	446,96	342,1	-0,04	0,1	0,11
5	233	212	233,21	211,51	0,21	-0,49	0,54

7.4 CBERS 2004 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	51	189	50,45	189,75	-0,55	0,75	0,93
2	191	52	191,26	51,6	0,26	-0,4	0,48
3	414	105	413,94	105,46	-0,06	0,46	0,46
4	447	342	446,94	342,98	-0,06	0,98	0,99
5	233	212	232,92	212,1	-0,08	0,1	0,13
6	431	300	431,4	298,82	0,4	-1,18	1,25
7	461	260	460,66	259,86	-0,34	-0,14	0,37
8	68	244	68,42	243,43	0,42	-0,57	0,71

7.5 LANDSAT 2000 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	32	147	30,4	147,14	-1,6	0,14	1,61
2	132	50	132,41	49,96	0,41	-0,04	0,41
3	301	88	300,09	88,08	-0,91	0,08	0,92
4	312	254	311,49	254,04	-0,51	0,04	0,51
5	161	163	163,61	162,77	2,61	-0,23	2,62

7.6 LANDSAT 2000 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	32	147	30,49	147,5	-1,51	0,5	1,59
2	132	50	132,53	49,75	0,53	-0,25	0,59
3	301	88	299,19	88,15	-1,81	0,15	1,82
4	312	254	309,7	254,3	-2,3	0,3	2,32
5	161	163	162,99	163,1	1,99	0,1	1,99
6	301	224	301,42	223,47	0,42	-0,53	0,67
7	322	196	324,36	196,13	2,36	0,13	2,36
8	45	186	45,32	185,61	0,32	-0,39	0,51

7.7 LANDSAT 2000 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	38	208	35,29	208,1	-2,71	0,1	2,71
2	181	70	181,7	69,97	0,7	-0,03	0,7
3	420	125	418,46	125,06	-1,54	0,06	1,55
4	436	361	435,14	361,03	-0,86	0,03	0,87
5	220	231	224,42	230,83	4,42	-0,17	4,42

7.8 LANDSAT 2000 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	38	208	35,65	209,44	-2,35	1,44	2,75
2	181	70	181,66	69,18	0,66	-0,82	1,05
3	420	125	417,49	125,38	-2,51	0,38	2,53
4	436	361	433,57	361,66	-2,43	0,66	2,52
5	220	231	224	232,01	4	1,01	4,13
6	422	319	421,49	317,9	-0,51	-1,1	1,22
7	451	279	454,03	278,95	3,03	-0,05	3,03
8	56	266	56,1	264,48	0,1	-1,52	1,52

7.9 LANDSAT 2002 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	39	206	38,93	206,31	-0,07	0,31	0,32
2	120	99	120,02	98,92	0,02	-0,08	0,08
3	274	112	273,96	112,18	-0,04	0,18	0,18
4	319	263	318,98	263,1	-0,02	0,1	0,1
5	163	202	163,12	201,49	0,12	-0,51	0,53

7.10 LANDSAT 2002 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	39	206	39,73	206,48	0,73	0,48	0,87
2	120	99	119,62	98,91	-0,38	-0,09	0,39
3	274	112	273,8	112,02	-0,2	0,02	0,2
4	319	263	318,47	262,14	-0,53	-0,86	1,01
5	163	202	163,52	201,34	0,52	-0,66	0,84
6	304	234	303,95	235,42	-0,05	1,42	1,42
7	319	207	319,67	206,83	0,67	-0,17	0,69
8	58	241	57,24	240,87	-0,76	-0,13	0,77

7.11 LANDSAT 2002 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	37	234	36,92	234,29	-0,08	0,29	0,3
2	157	75	157,02	74,93	0,02	-0,07	0,08
3	388	93	387,96	93,16	-0,04	0,16	0,17
4	458	318	457,98	318,09	-0,02	0,09	0,1
5	223	227	223,12	226,53	0,12	-0,47	0,49

7.12 LANDSAT 2002 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	37	234	37,79	234,94	0,79	0,94	1,23
2	157	75	156,67	74,49	-0,33	-0,51	0,61
3	388	93	387,6	93,65	-0,4	0,65	0,76
4	458	318	456,49	318,86	-1,51	0,86	1,74
5	223	227	223,29	227,32	0,29	0,32	0,43
6	433	279	434,34	278,73	1,34	-0,27	1,37
7	457	237	457,58	235,91	0,58	-1,09	1,23
8	65	287	64,23	286,09	-0,77	-0,91	1,19

7.13 ASTER 2003 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	75	226	73,86	225,35	-1,14	-0,65	1,31
2	266	41	266,29	41,17	0,29	0,17	0,34
3	569	121	568,35	120,63	-0,65	-0,37	0,75
4	608	431	607,64	430,79	-0,36	-0,21	0,42
5	319	257	320,86	258,06	1,86	1,06	2,14

7.14 ASTER 2003 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	75	226	74,69	226,17	-0,31	0,17	0,35
2	266	41	265,87	40,86	-0,13	-0,14	0,19
3	569	121	568,21	120,1	-0,79	-0,9	1,2
4	608	431	607,35	429,14	-0,65	-1,86	1,97
5	319	257	321,33	258,1	2,33	1,1	2,58
6	588	371	587,51	372,02	-0,49	1,02	1,13
7	627	320	627,82	321,23	0,82	1,23	1,48
8	100	301	99,22	300,38	-0,78	-0,62	1

7.15 ASTER 2003 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	39	170	38,32	169,42	-0,68	-0,58	0,9
2	183	31	183,18	31,15	0,18	0,15	0,23
3	409	91	408,61	90,67	-0,39	-0,33	0,51
4	438	324	437,78	323,81	-0,22	-0,19	0,29
5	222	193	223,11	193,95	1,11	0,95	1,47

7.16 ASTER 2003 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	39	170	38,74	169,94	-0,26	-0,06	0,27
2	183	31	182,95	30,95	-0,05	-0,05	0,07
3	409	91	408,62	90,36	-0,38	-0,64	0,74
4	438	324	437,73	322,76	-0,27	-1,24	1,27
5	222	193	223,4	193,99	1,4	0,99	1,72
6	423	279	422,85	279,79	-0,15	0,79	0,8
7	453	241	453,15	241,62	0,15	0,62	0,64
8	57	226	56,56	225,58	-0,44	-0,42	0,61

7.17 ASTER 2006 – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	48	246	45,07	245,9	-2,93	-0,1	2,93
2	238	62	238,76	62,03	0,76	0,03	0,76
3	558	138	556,33	137,94	-1,67	-0,06	1,67
4	580	450	579,06	449,97	-0,94	-0,03	0,94
5	293	277	297,78	277,16	4,78	0,16	4,78

7.18 ASTER 2006 – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	48	246	45,03	246,82	-2,97	0,82	3,08
2	238	62	239,09	61,58	1,09	-0,42	1,16
3	558	138	554,68	137,82	-3,32	-0,18	3,32
4	580	450	575,83	449,21	-4,17	-0,79	4,24
5	293	277	296,49	277,6	3,49	0,6	3,54
6	559	391	559,82	391,56	0,82	0,56	0,99
7	599	340	603,24	340,33	4,24	0,33	4,26
8	72	321	72,81	320,09	0,81	-0,91	1,22

7.19 ASTER 2006 Reamostrada – 5 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	37	184	34,69	184,28	-2,31	0,28	2,33
2	180	46	180,6	45,93	0,6	-0,07	0,6
3	419	102	417,68	102,16	-1,32	0,16	1,33
4	435	338	434,26	338,09	-0,74	0,09	0,74
5	220	208	223,78	207,54	3,78	-0,46	3,8

7.20 ASTER 2006 Reamostrada – 8 segmentos

Pto	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	37	184	34,83	185,07	-2,17	1,07	2,42
2	180	46	180,74	45,49	0,74	-0,51	0,89
3	419	102	416,6	102,33	-2,4	0,33	2,42
4	435	338	431,89	337,99	-3,11	-0,01	3,11
5	220	208	223	208,13	3	0,13	3,01
6	419	294	419,99	294,32	0,99	0,32	1,04
7	450	256	452,61	255,58	2,61	-0,42	2,64
8	55	241	55,34	240,09	0,34	-0,91	0,97

APÊNDICE 8

Erro em (X, Y) e RMS calculado para os pontos de verificação.

8.1 CBERS 2004

Pto	Ref. X	Ref. Y	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	83,5	262,25	83	258	82,38	258,28	-0,62	0,28	0,68
2	265,25	293,25	265,25	290,5	266,08	290,13	0,83	-0,37	0,91
3	454	108,5	454	106,5	453,88	106,56	-0,12	0,06	0,14
4	438,75	274,75	440	274,75	439,28	275,07	-0,72	0,32	0,79
5	322	205,25	319,75	205,75	320,38	205,47	0,63	-0,28	0,69

RMS em *pixel* 0,69 ou 13,8 metros.

8.2 LANDSAT 2000

Pto	Ref. X	Ref. Y	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	82	262	81,25	260,25	80,91	260,44	-0,34	0,19	0,38
2	267,25	293,5	266,5	292,25	266,95	292	0,45	-0,25	0,52
3	452,75	109,25	451,75	106,5	451,68	106,54	-0,07	0,04	0,08
4	438	275	439,25	274,25	438,85	274,47	-0,4	0,22	0,46
5	322,5	206,5	322,25	206	322,61	205,8	0,36	-0,2	0,41

RMS médio em *pixel* 0,40 ou 8 metros.

8.3 LANDSAT 2000 Reamostrada

Pto	Ref. X	Ref. Y	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	81,67	262,67	81,75	261,75	81,34	261,52	-0,41	-0,23	0,47
2	266,33	294	266,75	293,25	267,3	293,55	0,55	0,3	0,63
3	453,67	109,33	453,75	110,75	453,67	110,7	-0,08	-0,05	0,09
4	438	274,67	439,5	275	439,01	274,73	-0,49	-0,27	0,56
5	323,33	206,67	322,5	206,25	322,93	206,49	0,43	0,24	0,49

RMS médio em *pixel* 0,48 ou 9,6 metros.

8.4 ASTER 2003 Reamostrada

Pto	Ref. X	Ref. Y	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	81,33	263	79,75	263	79,55	262,45	-0,2	-0,55	0,58
2	266	293,67	265,75	292,5	266,03	293,24	0,28	0,74	0,79
3	454,67	109,67	455,5	110,25	455,46	110,14	-0,04	-0,11	0,12
4	437,67	274,67	438,25	275,5	438	274,84	-0,25	-0,66	0,7
5	323,67	207	322,25	206,75	322,46	207,32	0,21	0,57	0,61

RMS médio em *pixel* 0,60 ou 12 metros.

8.5 ASTER 2006

Pto	Ref. X	Ref. Y	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	81,33	262,33	88,25	263,25	87,96	263,21	-0,29	-0,04	0,3
2	267	293,33	270,75	292,5	271,15	292,55	0,4	0,05	0,41
3	457	111	458,5	109,25	458,44	109,24	-0,06	-0,01	0,06
4	438,67	275	439,75	274,75	439,4	274,7	-0,35	-0,05	0,35
5	323	205,33	324,75	206,5	325,05	206,54	0,3	0,04	0,3

RMS médio em *pixel* 0,31 ou 6,2 metros.

8.6 ASTER 2006 Reamostrada

Pto	Ref. X	Ref. Y	Ajuste X	Ajuste Y	Corr. X	Corr. Y	Erro X	Erro Y	<i>e</i>
1	81,67	263	83,75	262,75	83,82	262,78	0,07	0,03	0,07
2	266	293,33	267,5	292,25	267,41	292,21	-0,09	-0,04	0,1
3	455	109,67	457,75	108,5	457,76	108,51	0,01	0,01	0,01
4	438,67	275	438,25	274,25	438,33	274,28	0,08	0,03	0,08
5	323,33	206	323,75	206,25	323,68	206,22	-0,07	-0,03	0,07

RMS médio em *pixel* 0,07 ou 1,4 metros.